



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenl gungsschrift**  
10 **DE 199 20 309 A 1**

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 02 P 7/05**  
H 02 P 6/00

21 Aktenzeichen: 199 20 309.1  
22 Anmeldetag: 3. 5. 99  
43 Offenlegungstag: 25. 11. 99

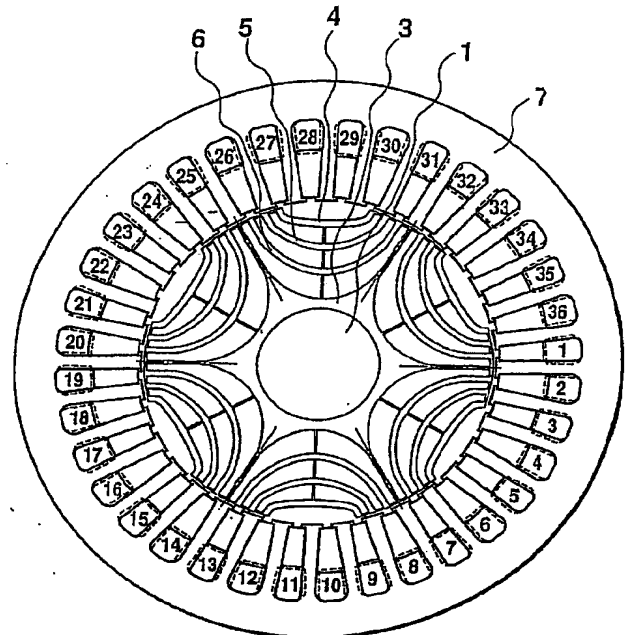
DE 199 20 309 A 1

30 Unionspriorität:  
P 10-124998 07. 05. 98 JP  
71 Anmelder:  
Okuma Corp., Nagoya, Aichi, JP  
74 Vertreter:  
TER MEER STEINMEISTER & Partner GbR  
Patentanwälte, 81679 München

72 Erfinder:  
Nashiki, Masayuki, Aichi, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- 54 Motor mit verringerter Drehmomentwelligkeit  
57 Ein Motor ist so aufgebaut, daß die Amplitude des Stromphasenzeigers jeder der Schlitze an einem Stator 7, wenn jeder Phase des Motors in einem Permanentmagnet-Synchronmotor und einem Reluktanzmotor ein dreiphasiger, sinusförmiger Strom zugeführt wird. Die Anzahl der Wicklungen jeder durch jeden der Schlitze gewickelten Phase ist so bestimmt, daß die Phase eines Stromphasenzeigers jeder der Schlitze mit einer Phase hinsichtlich elektrischer Grade in der Rotordrehrichtung jedes der Schlitze übereinstimmt. Die mittlere Position jedes Magnetpols einer Rotorstahlplatte 3 ist um Schlitzteilungsweite/NRR,  $2 \times$  Schlitzteilungsweite/NRR,  $3 \times$  Schlitzteilungsweite/NRR, ...1-Schlitzbreite zur Rotordrehrichtung gegen eine Position verschoben, die in gleicher Weise in  $360^\circ/\text{NRR}$  unterteilt ist, wobei NRR die Anzahl der Pole ist. Der Stator und der Rotor haben einen relativen Rotationsversatz um Schlitzteilungsweite/NRR.



DE 199 20 309 A 1

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

## 1. Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft einen üblichen Motor wie einen Synchronmotor vom Permanentmagnettyp, einen Reluktanz-Synchronmotor und einen Induktionsmotor, und spezieller betrifft sie eine Technik zum Verringern der Drehmomentwelligkeit eines derartigen Motors.

## 2. Beschreibung der einschlägigen Technik

Derzeit werden viele Arten von Motoren für verschiedene industrielle und Verbraucherzwecke verwendet.

Ein in Fig. 17 dargestellter Motor ist ein Beispiel eines synchronen Permanentmagnetmotors, wie er in einem Regelungsmechanismus zum Einstellen der Position, der Geschwindigkeit oder dergleichen verwendet wird. An einem Stator 12 sind 36 Schlitze vorhanden, die mit 1 bis 36 durchnummeriert sind. Eine durch den Mittelpunkt jedes der Schlitze gezogene Linie repräsentiert die Grenze zwischen Wicklungen, wenn zwei Sätze von Wicklungen innerhalb jedes der Schlitze angeordnet werden. Seitens eines Rotors bezeichnet die Zahl 3 die Rotorachse, die Zahl 10 den Rotorkern und die Zahl 11 einen Permanentmagnet. An die Permanentmagneten angeschriebene Buchstaben N und S kennzeichnen magnetische Nord- bzw. Südpole. Beim in dieser Figur dargestellten Beispiel ist der Rotor ein solcher mit sechs Polen, wobei die Schrittweite für einen magnetischen Pol  $60^\circ$  beträgt, wie es in der Figur dargestellt ist. Dreiphasige, sechspolige Wicklungen, wie sie in einem Wicklungsdiagramm in der Fig. 2 dargestellt sind, sind durch jeden der Schlitze des Stators 12 gezogen. Die Markierungen an der Oberseite der Fig. 2 sind Zahlen. Um den Umfang des Stators herum sind drei Sätze von Wicklungsmustern vom Schlitz 1 bis zum Schlitz 12 positioniert. U, V und W sind Wechselstromanschlüsse, und N ist der Sternpunkt, wenn ein Sternanschluss verwendet wird. In Fig. 2 sind zum Zweck einer kurzen Beschreibung Wicklungen in jedem der Schlitze für nur ein Drittel des gesamten Modells dargestellt. Das eine Drittel von Wicklungen sowie die restlichen zwei Drittel von Wicklungen in den Schlitzen sind am üblichsten in Reihe positioniert. Fig. 3 zeigt der Stromphasenzeiger für jeden der Schlitze, wenn ein dreiphasiger Wechselstrom an die Wicklungen in jedem der Schlitze gegeben wird.

Ströme in einer Richtung einer  $180^\circ$ -Umkehrung gegenüber durch jeden der Anschlüsse U, V und W laufenden Strömen sind mit X, Y bzw. Z repräsentiert. Markierungen (1), (2) usw. entsprechen den Schlitznummern. Aus der Fig. 2 ist es erkennbar, dass z. B. der Strom mit der Phase U durch die Schlitze 1 und 2 läuft, während Ströme mit der Phase X, die entgegengesetzt zur Phase U ist, durch die Schlitze 7 und 8 laufen, wobei die Amplitude derselben RR ist.

Ein im Wicklungsdiagramm der Fig. 4 veranschaulichtes Wicklungsverfahren wird als Wicklung mit kurzer Teilungswerte bezeichnet, und es dient zum Verteilen des Stroms in jeden der Schlitze in der Richtung der Drehung des Rotors, wobei diese Verteilung eher sinusförmig wird, wenn ein dreiphasiger Wechselstrom zugeführt wird, und Variationen in der Drehrichtung des Rotors verlaufen gleichmäßiger. Genauer gesagt, werden die Wicklungen in jedem der Schlitze hinsichtlich der Schlitze zweigeteilt, und die Hälfte der Wicklungen auf jeder Seite wird um die Teilungswerte eines Schlitzes in Gegenuehrzeigerrichtung CCW versetzt.

Durchgezogene und gestrichelte Linien in Fig. 5 kennzeichnen der Stromphasenzeiger für jeden der Schlitze, wenn dadurch ein dreiphasiger Sinusstrom zugeführt wird, dass eine Sinusstromsteuerung für den Strom durch die Wicklung in jedem der Schlitze erfolgt. Z.B. ist die Amplitude RS im Stromphasenzeiger für die Wicklungen im Schlitz 2 die Phasenzeigersumme UZS von U/2 und Z/2, bei  $\cos 30^\circ = 0,866$ , im Vergleich mit der Amplitude RR. Die Amplitude SS entspricht der Hälfte der Amplitude RR.

Die Fig. 18 zeigt ein Beispiel eines herkömmlichen dreiphasigen, sechspoligen Reluktanz-Synchronmotors. Ein Stator 12 entspricht dem Stator in Fig. 17. Neun enge magnetische Pfade 14 sind an jedem Magnetpol positioniert, und Schlitze, die die Leitung des magnetischen Flusses stören, sind zwischen jedem der engen magnetischen Pfade 14 am Rotor 13 vorhanden. Verbindungsteile für die radiale Richtung 15 halten jeden der engen magnetischen Pfade 14 von einem Abschnitt im Zentrum des Rotors ab, um zu verhindern, dass jeder der engen magnetischen Pfade während der Drehung des Rotors durch Zentrifugalkräfte zerstört und unterteilt wird. Verbindungsteile für den Rotorumfang 16 sind auf einem Teil um den Rotorumfang herum positioniert, um den Rotorumfang zu verbinden. Ein derartiger Reluktanz-Synchronmotor arbeitet wie folgt. Ein durch Strommagnetisierung erzeugter magnetischer Fluss des Stators, ein d-Achse-Strom, erzeugt magnetischen Fluss in Bandform an den engen magnetischen Pfaden 14 in der Durchlaufrichtung. Durch Zuführen eines Statordrehmomentstroms, d. h. eines q-Achse-Stroms, zu einem Teil der Rotorfläche, wo der magnetische Fluss gesammelt wird, in der Richtung der Rotordrehung, in die die zugehörigen Magnetpole zeigen, wird ein Drehmoment gemäß der Fleming'schen Linkshandregel erzeugt.

Fig. 19 zeigt ein Beispiel eines herkömmlichen, dreiphasigen, sechspoligen Induktionsmotors. Ein Stator 12 ist derselbe wie der Stator in den Fig. 17 und 18. Rotorschlitze 18 zum Anordnen eines elektrischen Sekundärleiters sind in der Nähe des Rotorumfangs angeordnet. Verschiedene Formen, wie eine Form, dass eine Seite der Rotorfläche offen ist, können für die Rotorschlitze 18 angewandt werden.

Fig. 20 zeigt einen Permanentmagnet-Synchronmotor mit Zähnen vorstehender Pole und mit Wicklungen. Einzelheiten des Motors sind in der japanischen Patentanmeldung Nr. Hei 10-30218 beschrieben. Die Zahl 22 kennzeichnet einen Stator, der mit dreiphasigen Wechselstromwicklungen bewickelt ist. Die U-Phase-Wicklungen MU1 und MU2 sind durch den Zahn STU und den Zahn STX geführt, während die V-Phase-Wicklungen MV1 und MV2 durch den Zahn STV bzw. den Zahn STY geführt sind. Die W-Phase-Wicklungen MW1 und MW2 sind durch jeweilige Zähne STW und S'W geführt. Die Breite jedes der Zähne beträgt  $45^\circ$  als Drehrichtungsgrade des Rotors sowie  $180^\circ$  hinsichtlich elektrischer Grade. In jedem Raum zwischen den Zähnen befindet sich ein Nebenschluss eines magnetischen Pfades BPT zum Führen magnetischen Flusses vom Rotor zu einem Jochteil des Stators 22. Die Breite jedes Nebenschlusses eines magnetischen Pfades BPT beträgt  $15^\circ$  und  $60^\circ$  hinsichtlich elektrischer Grade.

Die Relativphase jeder der Wicklungen für die Phase U, die Phase V und die Phase W beträgt  $120^\circ$ , ausgedrückt als relative elektrische Grade.

Die Zahl 21 kennzeichnet einen Rotor, dessen Durchmesser mit Permanentmagneten versehen ist. Die Magnetpole der Permanentmagnete sind in der durch N und S gekennzeichneten Richtung in Fig. 20 gekennzeichnet. Beim Beispiel der Figur verfügt der Rotor über acht Pole, und die Breite jedes der Magnetpole beträgt  $45^\circ$  und  $180^\circ$ , ausgedrückt als elektrische Grade.

Die Erfindung wurde geschaffen, um das übliche Problem der Drehmomentwelligkeit zu lösen.

Gemeinsame Nenner hinsichtlich der Statoren herkömmlicher Motoren, wie der in den Fig. 17, 18, 19 und 20 dargestellten Motoren, sind die folgenden. Da die Wicklungen des Stators in jedem der Schlitze verteilt sind, ist die Verteilung von Wicklungen in der Motorumdrehungsrichtung diskret. Strom wird im Allgemeinen diskontinuierlich und diskret als zweiphasiger oder dreiphasiger Strom zugeführt, wie es im Wicklungsdiagramm der Fig. 2 und im Stromphasenzeigerdiagramm für jeden der Ströme in Fig. 3 dargestellt ist. Obwohl es die Grundkonstruktion für die Motoren dieses Typs ist, dass die Schlitze um die Umfänge des Stators verteilt sind, kann die Struktur dadurch verbessert werden, dass die Anzahl der Schlitze erhöht wird, um eher kontinuierlich zu sein. Außerdem existiert ein Verfahren zum relativen Versetzen des Stators gegenüber dem Rotor um eine Teilungsweite von einem Schlitz, um die durch die diskrete Anordnung der Schlitze hervorgerufene Drehmomentwelligkeit zu verringern. Jedoch weist das Verfahren dahingehend Nachteile auf, dass eine komplizierte Konstruktion für den Versatz zu einer Erhöhung der Motorkosten führt und der Versatz das Abtriebsdrehmoment des Motors senkt. Im speziellen Fall des in Fig. 18 dargestellten Reluktanzmotors zeigten sich experimentell Probleme dahingehend, dass magnetischer Fluss innerhalb des betriebenen Rotors in axialer Richtung und der Rotordrehrichtung aufgrund des Versatzes existiert und Komponenten einer Drehmomentwelligkeit vorliegen, obwohl eine derartige Drehmomentwelligkeit aus der Schnittansicht des Motors von Fig. 18 nicht angenommen werden kann.

Um Ströme, die durch jeden der Schlitze laufen, wenn jeder Motorphase ein dreiphasiger Sinusstrom zugeführt wird, um den Umfang des Stators zu verteilen, ist es für die Verteilung der Ströme ideal, wenn sie Sinusform aufweisen. Da jedoch derselbe U-Phase-Strom z. B. durch die Schlitze 1 und 2 läuft und ein Z-Phase-Strom mit negativer Phase zur Phase W durch den nächsten Schlitz 3 läuft, wie es im Stromphasenzeigerdiagramm der Fig. 3 dargestellt ist, existiert hinsichtlich der elektrischen Grade zwischen dem Schlitz 2 und dem Schlitz 3 eine Phasendifferenz von  $60^\circ$ . Das erzeugte Drehmoment des Motors wird ungleichmäßig, obwohl ein Motorstrom mit einem dreiphasigen Sinusstrom aktiviert wird, da der Strom in den Schlitzen nicht in Sinusform verteilt ist, wie oben angegeben. Das Ergebnis ist die Entstehung von Drehmomentwelligkeit.

Nachfolgend wird ein Motor mit einer Konstruktion betrachtet, wie sie durch das Wicklungsdiagramm mit einer Wicklung mit kurzer Teilungsweite gemäß Fig. 4 angegeben ist, wobei die Stromverteilung um den Umfang des Stators sinusförmig verteilt ist. Aus dem Stromphasendiagramm der Fig. 5 ist es erkennbar, dass für die Schlitze 1, 3, 5, 7, 9 und 11 eine zweckdienliche Phase und eine geeignete Amplitude RR gelten, wie oben beschrieben. Jedoch ist hinsichtlich des den Schlitzen 2, 4, 6, 8, 10 und 12 zugeführten Stroms die Phase geeignet, jedoch ist die mit RS gekennzeichnete Amplitude ein kleinerer Wert von  $\cos 30^\circ = 0,866$  in Bezug auf die Amplitude RR. Demgemäß besteht bei diesem Motor ein Problem dahingehend, dass durch diese Inhomogenität eine Drehmomentwelligkeit hervorgerufen wird.

Es existieren weitere Probleme hinsichtlich magnetischer Schwingungen und magnetischer Störsignale im Motor, zusätzlich zur Drehmomentwelligkeit, wenn die Stromverteilung für jeden der Schlitze ungleichmäßig ist. Diese Probleme werden zu Hauptfaktoren, die die Verwendung eines derartigen Motors in Präzisionsmaschinen beeinflussen, bei denen Bedenken hinsichtlich Schwingungen und Störungen groß sind, sowie bei elektrischen Hausgeräten, die in einer

Wohnungsumgebung genutzt werden.

Im in Fig. 20 dargestellten Motor mit den Zähnen mit vorstehenden Polen und Wicklungen ist die Wicklungsarbeit für den Stator einfacher und die Kosten sind niedriger als beim Permanentmagnet-Synchronmotor der Fig. 17. Darüber hinaus ist es bei einem derartigen Motor möglich, die Wicklungen mit hoher Dichte zu verlegen und dadurch die Spulenenden zu minimieren. Dies sorgt für Vorteile dahingehend, dass der Motor kleiner und billiger wird. Jedoch ist es schwierig, wegen der einfachen Form des Stators eine Magnetflussverteilung mit Sinusform zu erzielen. Daher besteht bei diesem Motor ein Problem hinsichtlich hoher Drehmomentwelligkeit. Als Gegenmaßnahme zum Verringern der Drehmomentwelligkeit kann in Betracht gezogen werden, die Form des Motors dahingehend zu ändern, dass er durch einen fünfphasigen Sinusstrom gesteuert wird. Unabhängig vom Fall existieren Nachteile dahingehend, dass die Kosten des Motors hoch werden und das erzeugte Drehmoment des Motors abnimmt.

Außerdem verursacht die hohe Drehmomentwelligkeit Probleme hinsichtlich der Genauigkeit der Motorregelung, Schwingungen und Störsignalen.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, Drehmomentwelligkeit in einem Motor zu verringern. Ferner ist es eine Aufgabe der Erfindung, gleichzeitig Schwingungen und Störungen zu verringern, während eine genauere Einstellung der Drehzahl und von Positionen durch Verringern der Drehmomentwelligkeit erzielt wird.

Bei einem üblichen dreiphasigen Wechselstrommotor oder dergleichen, bei dem mehrere Schlitze zum Anordnen einer Wicklung auf dem Stator am Umfang vorhanden sind, wird eine Wicklung für jede Phase wie folgt durch jeden der Schlitze geführt. Das Produkt aus der Anzahl von Windungen in jedem der Schlitze am Stator und dem Phasenstrom, anders gesagt, aus der Phase und der Amplitude im Stromphasenzeiger, wie durch die Amperes und die Anzahl der Windungen repräsentiert, ist aus einem Gesichtspunkt hinsichtlich jedes der Schlitze beinahe gleich, wenn ein dreiphasiger, sinusförmiger Wechselstrom zugeführt wird.

Die Erfindung schlägt auch eine Konstruktion vor, durch die der Statorraum wirkungsvoller genutzt werden kann. Bei dieser Konstruktion liegt die Position in der Rotordrehrichtung für jeden der Zähne des Stators gleichmäßig am Innenradius desselben, und die Schlitze sind auf solche Weise ausgebildet, dass sie eine solche Flächenbeziehung aufweisen, dass die Querschnittsfläche jedes der Schlitze grob proportional zum Umfang der Wicklungen in jedem der Schlitze ist. Im Ergebnis ist die Flächenbeziehung innerhalb des Stators so bestimmt, dass die Größe jedes der Schlitze die geeignetste Abmessung für den Umfang der Wicklungen aufweist, die durch jeden der Schlitze geführt sind.

Bei einem vielphasigen Wechselstrommotor, bei dem mehrere Schlitze zum Anordnen der Wicklung am Stator auf dem Umfang liegen, ist ein anderes Verfahren zum Korrigieren einer Inhomogenität das folgende, wenn der Stromphasenzeiger der in jedem der Schlitze angeordneten Wicklung ungleichmäßig ist. Der Motor ist so aufgebaut, dass jeder Zwischenraum zwischen den Zähnen am Stator grob gesprochen proportional zur Stärke des Stromphasenzeigers ist, wie es durch die in jedem der Schlitze angeordnete Wicklung erzeugt wird, anders gesagt, proportional zum Maximalwert der Ströme.

Als Verfahren zum Verringern der durch diskrete Positionierung der Schlitze am Stator hervorgerufenen Drehmomentwelligkeit kann der Rotor so aufgebaut werden, dass er

mehrere Magnetpole aufweist, die so liegen, dass eine Position in der Rotordrehrichtung für jeden der Magnetpole um NN/NR einer Teilungsweite eines Schlitzes entgegen der Position, die mit entsprechendem Abstand liegt, in der Rotordrehrichtung verschoben ist. Hierbei ist NN eine ganze Zahl, die magnetpolmäßig bestimmt ist. Es existieren zwei oder mehr ganze Zahlen für alle Magnetpole des Rotors. Außerdem repräsentiert NR, das eine eindeutige ganze Zahl für den Rotor ist, einen Verschiebungstyp für die Magnetpole auf dem Rotor in der Rotordrehrichtung, und der zugehörige Maximalwert ist die Anzahl der Magnetpole des Rotors.

Ein weiteres Verfahren zum Verringern von Drehmomentwelligkeit ist das folgende. Wenn die Typanzahl der Magnetpole am Rotor, wie in der Rotordrehrichtung verschoben, wie oben angegeben, NR ist, sind der Rotor und der Stator so aufgebaut, dass sie in der Rotordrehrichtung relativ um einen Winkel versetzt sind, der kleiner als die Hälfte der Schlitzteilungsweite oder gleich groß ist, oder sie sind relativ in der Rotordrehrichtung versetzt, wobei sie in zwei oder mehr Sätze in der Richtung der Rotorachse unterteilt sind, um äquivalente Wirkungen zum Rotationsversatz zu erzielen. Dies ermöglicht es, Komponenten einer Drehmomentwelligkeit, die durch das oben genannte Verschieben der Magnetpole am Rotor nicht entfernt wurden, durch Rotationsversatz um einen kleinen Winkel zu beseitigen.

Ein anderes Verfahren zum Verringern von Drehmomentwelligkeit, wenn sowohl die Schlitzte im Stator als auch die Schlitzte seitens des Rotors diskret positioniert sind, besteht darin, eine Noniusbeziehung aufzubauen, bei der eine diskrete Teilungsweite, die hinsichtlich der Innenstruktur des Rotors diskret ist, kein ganzzahliges Vielfaches der Schlitzteilungsweite des Stators ist. Außerdem kann dieses Verfahren vorzugsweise mit einer Konstruktion oder mehreren zum Verringern der Drehmomentwelligkeit, wie oben, kombiniert werden, um einen größeren Effekt zu erzielen.

Ein Verfahren zum Verringern von Drehmomentwelligkeit in einem Permanentmagnet-Synchronmotor, bei dem Nordpole oder Südpole in der Rotordrehrichtung am Umfang des Rotors aufeinanderfolgend liegen, ist das folgende. Der Rotor ist so aufgebaut, dass eine Grenzposition zwischen einem magnetischen Nordpol und einem magnetischen Südpol um NN/NR einer Teilungsweite eines Schlitzes des Stators in der Rotordrehrichtung entgegen einer Position verschoben ist, die mit entsprechender Beabstandung positioniert ist.

In einem vielphasigen Wechselstrommotor, bei dem mehrere Schlitzte zum Anordnen einer Wicklung auf dem Stator am Umfang liegen, ist der Stator wie folgt aufgebaut. Der Stator ist in die Anzahl NPP1, die kleiner als NPP oder gleich groß ist, unterteilt, wobei NPP die Anzahl von Magnetpolen am Stator ist, und zwar hinsichtlich Funktionen in der Rotordrehrichtung. Ein Funktionsblock des unterteilten Stators ist um NPP2/NPP1 einer Teilungsweite eines Schlitzes des Stators in der Rotordrehrichtung entgegen der Position verschoben, die mit entsprechendem Abstand liegt. Hierbei ist NPP2 eine ganze Zahl.

In einem Permanentmagnet-Synchronmotor mit NB-Phase mit einem Stator mit vorstehender Struktur, bei der eine Wicklung einer bestimmten Phase durch einen Zahn des Stators geführt ist, ist, um Drehmomentwelligkeit zu verringern, der Motor mit Zähnen des Stators versehen, deren Anzahl größer als  $(NP + 2)$  oder gleich groß ist. Außerdem verfügt jeder der zwei oder mehr Zähne des Stators über eine zusammengesetzte Wicklung, die durch Wicklungen von zwei oder mehr Phasentypen gewickelt ist.

Bei einem Permanentmagnet-Synchronmotor mit NP-Phase ist der Motor ferner wie folgt aufgebaut, um Dreh-

momentwelligkeit zu verringern. Eine Position in der Rotordrehrichtung jedes der Zähne am Stator ist auf dem Umfang des Stators an einer Position AE ausgedrückt in elektrischen Graden angeordnet, an der Phasen über  $(NB + 2)$ -Typen oder gleich groß liegen. Die Amplitude im Stromphasenzeiger jedes der Zähne ist grob gesprochen gleich, wenn die Gesamtsumme im Stromphasenzeiger einer durch jeden der Zähne des Stators geführten Wicklung als Stromphasenzeiger für jeden der Zähne repräsentiert ist, während die Richtung des oben genannten Stromphasenzeiters im Wesentlichen mit einer Phase ausgedrückt in elektrischen Graden einer Position in der Rotordrehrichtung übereinstimmt, wo jeder der Zähne liegt.

Außerdem kann der Motor wie folgt aufgebaut sein, um die Drehmomentwelligkeit weiter zu verringern. Wenn eine Position in der Rotordrehrichtung für jeden der Zähne des Stators als AE ausgedrückt in elektrischen Graden angenommen wird, liegt der elektrische Grad AE oder  $(AE - 180)$  jedes der Zähne an einer Position, die in gleicher Weise in die Anzahl einer ganzen Zahl NSK zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  unterteilt ist. Der Rotor und der Stator sind um einen Winkel relativ rotationsversetzt, der grob gesprochen  $(180^\circ/NSK)$  gleich ist oder um einen Winkel, der ein ganzzahliges Vielfaches von  $(180^\circ/NSK)$  ist.

Der oben genannte Permanentmagnet-Synchronmotor mit vorstehenden Polen ist wie folgt aufgebaut. Ein Nebenschluss eines magnetischen Pfads BPT zum Durchleiten eines magnetischen Flusses, der für den Motorbetrieb unerwünscht und überflüssig ist, durch einen Jochabschnitt des Stators vom Rotor aus, liegt zwischen den Zähnen des Stators. Der Nebenschluss eines magnetischen Pfads BPT ist strukturmäßig so konzipiert, dass er vom Stator getrennt ist, um die Bearbeitbarkeit beim Wickeln der Wicklungen durch jeden der Zähne zu verbessern. Daher kann der Nebenschluss eines magnetischen Pfads nach dem Wickeln der Wicklungen installiert werden.

In einem üblichen dreiphasigen Wechselstrommotor oder dergleichen, in dem mehrere Schlitzte zum Anordnen der Wicklungen auf dem Stator auf dem Umfang liegen, ist die gesamte Drehmomentwelligkeit, mit Ausnahme derjenigen, die durch die diskrete Positionierung am Stator hervorgerufen ist, theoretisch dann beseitigt, wenn, hinsichtlich einer Phase und Amplitude eines Stromphasenzeiters, die Phase einer Position jedes der Schlitzte entspricht und die Amplitude des Gesamtstromphasenzeiters gleich ist. So ist Drehmomentwelligkeit verringert.

Der oben beschriebene Motor macht es erforderlich, dass die Anzahl von Windungen entsprechend der einzelnen Phase so bestimmt wird, dass der Stromphasenzeiger jedes der Schlitzte geeignete Phase und Amplitude aufweist. Im Ergebnis variiert die Anzahl aller Windungen der Wicklungen von Schlitz zu Schlitz. Daher kann der Prozentsatz der effektiven Nutzung des Stators dadurch erhöht werden, dass die Schlitzte so geformt werden, dass sie eine solche Flächenbeziehung aufweisen, dass die Querschnittsfläche jedes der Schlitzte grob proportional zum Umfang der Wicklungen in jedem der Schlitzte ist. Dies ermöglicht es, die Motorgröße zu verringern.

Wenn der Stromphasenzeiger von Wicklungen, wie sie in jedem der Schlitzte liegen, ungleichmäßig ist, besteht ein alternatives Verfahren zum Verfahren des Änderns der Anzahl von Windungen zum Korrigieren der Inhomogenität darin, den Stator so aufzubauen, dass der Abstand zwischen den Zähnen am Stator grob proportional zur Amplitude des Stromphasenzeiters ist, wie er durch die in jedem der Schlitzte angeordneten Wicklungen erzeugt wird, anders gesagt, proportional zum Maximalwert der Ströme. Im Ergebnis nimmt z. B. der Abstand zwischen den Zähnen ab, wenn

die Amplitude des Stromphasenzeigers klein ist. Dies ermöglicht es, dass das Verhältnis zwischen der Amplitude aus dem Stromphasenzeiger und dem Abstand der Zähne im entsprechenden Abschnitt, anders gesagt, die Stromdichte pro Linienwinkel, um den Gesamtumfang des Stators gleichmäßig ist. Demgemäß ist Drehmomentwelligkeit verringert.

Als Verfahren zum Verringern der Drehmomentwelligkeit, wie sie durch diskrete Positionierung der Schlitze am Stator hervorgerufen ist, kann der Rotor auf solche Weise aufgebaut sein, dass er mehrere Magnetpole aufweist, die so positioniert sind, dass die Position jedes der Magnetpole in der Rotordrehrichtung um NN/NR der Teilungsweite eines Schlitzes entgegen einer Position, die mit entsprechender Beabstandung liegt, in der Rotordrehrichtung verschoben ist.

Obwohl zwischen dem Stator und jedem der Magnetpole am Rotor ein bestimmtes Drehmoment erzeugt wird, das in einer zugehörigen Schlitzteilungsweite, entsprechend einem Inhalt harmonischer Schwingungen, Drehmomentwelligkeitskomponenten enthält, hebt die oben genannte Verschiebung von Magnetpolen die Komponenten der Drehmomentwelligkeit in Perioden auf, die kleiner als die Schlitzteilungsweite oder gleich groß sind. Im Ergebnis kann Drehmomentwelligkeit verringert werden.

Ein weiteres Verfahren zum Verringern von Drehmomentwelligkeit ist das folgende. Der Rotor und der Stator sind so aufgebaut, dass sie relativ zur Rotordrehrichtung um einen Winkel rotationsversetzt sind, der kleiner als die Hälfte der Schlitzteilungsweite oder gleich groß ist, oder sie sind relativ zur Rotordrehrichtung versetzt, wobei sie in zwei oder mehr Sätze in der Richtung der Rotorachse unterteilt sind, um entsprechende Effekte zum Rotationsversatz zu erzielen. Dies hebt die Drehmomentwelligkeit in Perioden auf, die kleiner als die Hälfte einer Schlitzteilungsweite oder gleich groß sind, und es kann die Drehmomentwelligkeit verringert werden.

Ein anderes Verfahren zum Verringern von Drehmomentwelligkeit, wenn sowohl die Schlitze im Stator als auch die Schlitze am Rotor verteilt sind, besteht darin, eine Noniusbeziehung so aufzubauen, dass eine diskrete Teilungsweite in der internen Struktur des Rotors kein ganzzahliges Vielfaches einer Schlitzteilungsweite des Stators ist. Die Noniusstruktur verringert die Drehmomentwelligkeit, und als zusätzlicher Vorteil erzeugt ein Kombinieren dieses Verfahrens mit mehreren Arten anderer Konstruktionen zum Verringern der Drehmomentwelligkeit mehr Effekte. Im Ergebnis kann Drehmomentwelligkeit weiter bis nahe auf das geringstmögliche Niveau verringert werden.

Bei einem Permanentmagnet-Synchronmotor, bei dem die Nordpole oder die Südpole am Umfang des Rotors aufeinanderfolgend in der Rotordrehrichtung liegen, wird die Drehmomentwelligkeit durch folgende Konstruktion verringert. Die Grenzposition zwischen einem magnetischen Nordpol und einem magnetischen Südpol wird um NN/NR einer Teilungsweite eines Schlitzes in der Rotordrehrichtung gegenüber einer Position verschoben, die unter dem gleichen Abstand liegt. Dies erzeugt einen Effekt entsprechend zum Verschieben von Magnetpolen, wie oben beschrieben, und es kann die Drehmomentwelligkeit verringert werden.

Bei einem vielphasigen Wechselstrommotor, bei dem mehrere Schlitze zum Anordnen der Wicklungen am Stator am Umfang liegen, kann die Drehmomentwelligkeit durch das folgende Verfahren verringert werden. Der Stator wird in eine Anzahl NNP1, die kleiner als NPP oder gleich groß ist, wobei NPP die Anzahl der Magnetpole des Stators ist, funktionsmäßig in der Rotordrehrichtung unterteilt. Außerdem wird der unterteilte Funktionsblock des Stators um

NPP2/NPP1 der Teilungsweite eines Schlitzes des Stators in der Rotordrehrichtung entgegen der Position versetzt, die unter entsprechendem Abstand liegt, wobei NPP2 eine ganze Zahl ist. In diesem Fall ist die Statorseite entgegengesetzt zur Verschiebung der Magnetpole, wie oben angegeben, verschoben. Diese Konstruktionen sind relativ gleich und erzeugen ähnliche Effekte. Dann kann Drehmomentwelligkeit verringert werden.

Bei einem Permanentmagnet-Synchronmotor mit NP-Phase mit einem Stator mit vorstehender Struktur, bei dem eine Wicklung einer bestimmten Phase durch einen Zahn des Stators geführt ist, wird eine größere Anzahl bei einem vielphasigen Wechselstrommotor im Wesentlichen durch das folgende Verfahren realisiert. Der Motor ist mit Zähnen des Stators versehen, deren Anzahl größer als  $(NP + 2)$  oder gleich groß ist, um Drehmomentwelligkeit zu verringern. Außerdem verfügt jeder der zwei oder mehr Zähne über eine zusammengesetzte Wicklung, bei der Wicklungen von zwei oder mehr Phasentypen durchgeschleift sind. Dies ermöglicht es, den Motor gleichmäßiger zu betreiben, anders gesagt, ist es dadurch möglich, Drehmomentwelligkeit zu verkleinern.

Zusätzlich hierzu kann Drehmomentwelligkeit verringert werden, wenn für eine gleichmäßigere Verteilung hinsichtlich elektrischer Grade und einer Struktur gesorgt wird, die äquivalente Beabstandung hinsichtlich Phasen zur Amplitude und Phase des aktuellen Phasenzeigers für jeden der Zähne am Stator im Permanentmagnet-Synchronmotor mit NP-Phase aufweist.

Auch kann, wenn die Phase der oben genannten äquivalenten Beabstand erzielt wird, ein Rotationsversatz um eine Teilungsweite eines ganzzahligen Vielfachen des Zwischenraums Drehmomentwelligkeit in Perioden aufheben, die kleiner als die Teilungsweite der äquivalenten Beabstandung sind. Dies führt zu einer Verringerung der Drehmomentwelligkeit.

Beim oben genannten Permanentmagnet-Synchronmotor mit vorstehenden Polen ist es möglich, den Nebenschluss eines magnetischen Pfades BPT bei der Wicklungsarbeit am Stator dadurch zu beseitigen, dass der BPT so ausgebildet wird, dass er vom Stator getrennt werden kann. Dies ermöglicht es, die Wicklungsarbeit zu vereinfachen, und es erlaubt es, die Motorkosten zu senken.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Fig. 1 ist eine Schnittansicht eines erfindungsgemäßen Reluktanzmotors;

Fig. 2 ist ein Wicklungsdiagramm einer Wicklung mit voller Teilungsweite beim in Fig. 1 dargestellten Motor;

Fig. 3 ist ein Stromphasenzeigerdiagramm beim Anwenden der Wicklung der Fig. 2;

Fig. 4 ist ein Wicklungsdiagramm einer Wicklung mit kurzer Teilungsweite beim Motor der Fig. 1;

Fig. 5 ist ein Stromphasenzeigerdiagramm bei Anwendung der Wicklung der Fig. 4;

Fig. 6 ist eine Zeichnung, die die Beziehung zwischen dem Stromphasenzeiger und der Schlitzbreite zeigt;

Fig. 7 ist ein Rotor eines Motors vom Permanentmagnettyp gemäß der Erfindung;

Fig. 8 ist ein Rotor eines Motors vom Permanentmagnettyp gemäß der Erfindung;

Fig. 9 ist eine vergrößerte Detailansicht des Rotors des Motors von Fig. 1;

Fig. 10 ist eine Schnittansicht eines erfindungsgemäßen Reluktanzmotors;

Fig. 11 ist eine Schnittansicht des Reluktanzmotors;

Fig. 12 ist ein Wicklungsdiagramm des Motors der Fig.

11;

Fig. 13 ist ein Stromphasenzeigerdiagramm zur Erfindung auf Grundlage des Wicklungsdiagramms der Fig. 12;

Fig. 14 ist eine Schnittansicht eines Stators bei der Erfindung;

Fig. 15 ist eine Zeichnung, die eine Beziehung zwischen einer Verschiebetechnik für Magnetpole am Rotor und einem Rotationsversatz zeigt;

Fig. 16 ist eine Schnittansicht eines erfindungsgemäßen Permanentmagnet-Synchronmotors mit vorstehenden Polen;

Fig. 17 ist eine Schnittansicht eines bekannten Motors vom Permanentmagnettyp;

Fig. 18 ist eine Schnittansicht eines bekannten Reluktanzmotors;

Fig. 19 ist eine Schnittansicht eines bekannten Induktionsmotors;

Fig. 20 ist eine Schnittansicht eines bekannten Permanentmagnet-Synchronmotors mit vorstehenden Polen.

#### BE-SCHREIBUNG DES BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSBEISPIELS

Fig. 1 zeigt einen dreiphasigen, sechspoligen Reluktanzmotor mit 36 Schlitzen gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Für eine Wicklung mit voller Teilungsweite, wie im Wicklungsdiagramm der Fig. 2 dargestellt, wobei ein dreiphasiger, sinusförmiger Wechselstrom jeder Wicklung zugeführt wird, kann jeder Stromphasenzeiger von durch jeden Schlitz laufenden Strömen so repräsentiert werden, wie es in Fig. 3 dargestellt ist. Aus der Figur ist es ersichtlich, dass die Diskontinuität des Stromphasenzeigers zwischen benachbarten Schlitzen hoch ist.

Für eine Wicklung kurzer Teilungsweite, wie sie im Wicklungsdiagramm der Fig. 4 dargestellt ist, kann jeder Stromphasenzeiger so repräsentiert werden, wie es in Fig. 5 dargestellt ist. Die Diskontinuität des Stromphasenzeigers zwischen benachbarten Schlitzen ist im Vergleich zum in Fig. 3 veranschaulichten Fall stark verbessert. Wie erwähnt, sind die Hälfte der Anzahl der Windungen einer U-Phase-Wicklung im Schlitz 1 und die Hälfte der Anzahl der Windungen einer V-Phase-Wicklung im Schlitz 3 durch die Wicklung des Schlitzes 2 geführt. Die Gesamtamplitude RS des Stromphasenzeigers der Wicklungen ist die Phasensumme UZS von U/2 und V/2, und sie beträgt  $\cos 30^\circ = 0,866$  in Bezug auf die Amplitude RR. Die Phase des Stromphasenzeigers UZS ist geeignet, und sie weist eine Phasendifferenz von  $30^\circ$ , ausgedrückt in elektrischen Graden in Bezug auf die Phase U auf.

Die Erfindung führt eine Modifizierung am Stromphasenzeiger für den Schlitz 2 gegenüber UZS, wobei die zugehörige Amplitude RS ist, auf UZ, wobei die zugehörige Amplitude RR ist, aus. Genaucr gesagt, sind die Anzahlen von Windungen sowohl der U-Phase- als auch der V-Phase-Wicklungen, die durch den Schlitz 2 gewickelt sind, auf ein ganzzahliges von  $(0,5/\cos 30^\circ) = 0,57735$  der Anzahl der Windungen im Schlitz 1 erhöht. Demgemäß wird die Amplitude des Stromphasenzeigers für den Schlitz 2 der Wert RR. Wenn derselbe Vorgang auf die Schlitze 4, 6, 8, 10 und 12 angewandt wird, wird das Ergebnis geschaffen, dass der Motor mit einem Stromphasenzeiger von 12 Phasen betrieben wird, die hinsichtlich der Phasen gleichmäßig verteilt sind und gleiche Amplitude aufweisen. Es kann ausgesagt werden, dass der Zustand ein idealer Antriebszustand für einen Motor ist, mit der Ausnahme, dass die Schlitze am Umfang des Stators verteilt sind. Daher hat die Drehmomentwelligkeit (keine periodischen Komponenten größer als die Schlitzteilungsweite)???

Die Erfindung erlaubt die Verwendung einer beliebigen riesigen Anzahl von Kombinationsverfahren, wie sie zum Erzeugen des Stromphasenzeigers UZ, dessen Amplitude RR ist, zur Verfügung stehen, und zwar durch Auswählen und Kombinieren der Anzahl der Windungen der U-Phase-, der V-Phase- und der W-Phase-Wicklungen. Ein einfaches derartiges Verfahren besteht darin, die Wicklung im Schlitz 2 unter Verwendung zweier Phasen, nämlich der Phase U und der Phase V zu erzeugen. Allgemein gesagt, sind die einfachsten Kombinationsverfahren zur Verringerung der Material- und Zusammenbaukosten von Vorteil. Für eine dreiphasige, sechspolige Konfiguration mit 36 Schlitzen, wie in den Fig. 12 und 13 angegeben, variiert die Anzahl der Windungen jeder Wicklung. Jedoch bleibt das Konzept anwendbar, dass die Phase und die Amplitude des Stromphasenzeigers in jedem der Schlitze zweckdienlich gemacht werden. Ein Stromphasenzeiger, dessen Amplitude gleich ist und dessen Phase gleichmäßig verteilt ist, kann in ähnlicher Weise leicht unter Verwendung einer beliebigen Anzahl von Phasen, Polen und Schlitzen erzeugt werden.

In den Fig. 2 und 4 ist unter Verwendung eines vereinfachten Verfahrens zum deutlicheren Veranschaulichen des zugrundeliegenden Konzepts ein Anschlussverfahren zum Anschließen von Wicklungen für jeden der Schlitze, was als Abfolge des Wicklungsvorgangs bekannt ist, veranschaulicht. Es ist möglich, die Abfolge des Wicklungsvorgangs zu ändern, da eine Änderung der Abfolge die Betriebsfunktionen als Motor nicht beeinflusst. Unter normalen Umständen wird häufig ein Verfahren verwendet, bei dem sogenannte Spulenenden kurz sein können, die Menge des für einen Teil der Spulenenden verwendeten Kupfers gering ist oder der Wicklungsvorgang vereinfacht ist.

Die Vorgehensweise bei dieser Technik ist allgemein bei Permanentmagnet-Synchronmotoren, Reluktanzmotoren und Induktionsmotoren oder bei einem beliebigen ähnlichen Motor oder einem Gerät mit einem ähnlichen Stator anwendbar.

Wenn die Anzahl aller Windungen jedes der Schlitze am Stator variiert, ist unten ein wirkungsvollerer Querschnitt des Schlitzes beschrieben. Wie es im Stromphasenzeigerdiagramm der Fig. 5 beschrieben ist, unterscheidet sich die Anzahl der Windungen für z. B. den Schlitz 1 nicht von der Anzahl der Windungen für den Schlitz 2. Für den Schlitz 2 ist auch ein zusätzlicher Raum für Isoliermaterial, um eine Zwischenphasenisolierung aufzubringen, erforderlich, da Wicklungen zweier Phasen aufgewickelt werden. Um diese Situation zu überwinden, reicht es aus, die Querschnittsfläche entsprechend einer erforderlichen Fläche auf Schlitzbasis zu ändern, wie es in Querschnittsformen von Schlitzen für den Reluktanzmotor der Fig. 1 dargestellt ist. Die Figur zeigt, dass die Querschnittsformen der durch durchgezogene Linien dargestellten Schlitze von den Querschnittsformen der gestrichelten Linien dargestellten Schlitze verschieden sind.

Ein anderes praxisgerechtes Verfahren zum Verringern des Ausmaßes des Heizwerts des Stators besteht darin, die Querschnittsfläche der Schlitze gleichmäßig zu machen und den Wicklungsdurchmesser zu erhöhen, wobei die Anzahl der Windungen gering ist.

Fig. 6 zeigt ein anderes Verfahren zum Verringern von Drehmomentwelligkeit bei den Wicklungen mit kurzer Teilungsweite, wie im Wicklungsdiagramm der Fig. 4 dargestellt, wenn die Amplitude des Stromphasenzeigers für jeden der Schlitze variiert. Die Amplitude RS des Stromphasenzeigers UZS ist  $\cos 30^\circ = 0,866$  der Amplitude RR des Stromphasenzeigers U, wie es im Stromphasenzeigerdiagramm dargestellt ist. Wenn der Abstand zwischen den Zähnen jedes der Schlitze als  $1 : 0,866 = 32,854^\circ : 27,845^\circ$  ge-

nommen wird, wie es in Fig. 6 dargestellt ist, werden die Stromdichten im Abstand gleichmäßig, da sie einen entsprechenden Wert aufweisen. Wenn der Abstand zwischen den Zähnen jedes der Schlitzes durch ein solches Verfahren geändert wird, führt dies zur Verbesserung eines Problems der Drehmomentwelligkeit, das durch eine ungleichmäßige Amplitude des Stromphasenzeigers verursacht wird. Da die Fig. 6 zum Verstehen der Position der Mittellinie jedes der Zähne dargestellt ist, ist die Querschnittsfläche des Schlitzes 1 als verschieden von der Querschnittsfläche des Schlitzes 2 dargestellt. Jedoch ist es leicht erzielbar, die Querschnittsflächen jedes der Schlitzes gleich zu machen, wenn die Positionen des Mittelschnitts der Zähne geändert werden, wobei die Positionen der Zähne entsprechend dem Innenradius des Stators ungeändert beibehalten werden.

Nun wird auf eine Technik zum Verringern von Drehmomentwelligkeit in Perioden unter einer Schlitzteilungsweite des Stators, oder gleich groß, Bezug genommen, wobei Fig. 7 ein Beispiel eines Rotors eines Permanentmagnet-Synchronmotors zeigt. In Fig. 7 verfügt der Rotor über vier Pole; die Bezugszahl 1 ist eine Rotorachse, die Zahl 2 ist ein Eisenkern des Rotors und PM1 ist ein Permanentmagnet, dessen Breite einen Winkel  $\theta$  einnimmt. Da kein Stator dargestellt ist, ist in der Figur ein vierpoliger Stator mit 36 Schlitzten angenommen. Die Positionen in der Rotordrehrichtung an den Enden in der Uhrzeigerrichtung der Permanentmagnete sind auf Winkel von  $10^\circ$ ,  $12,5^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $17,5^\circ$  in Bezug auf Mittellinien bei jeweils einem Winkel von  $90^\circ$  fixiert. Gestrichelte Linien, die in der Nähe jedes der Permanentmagnete angegeben sind, repräsentieren Positionen des Permanentmagnets PM1 im ersten Quadranten in Fällen, in denen er in den zweiten, dritten, vierten Quadranten bewegt ist. Die Position des Permanentmagnets in jedem der Quadranten ist um  $2,5^\circ$  in der Rotordrehrichtung verschoben. Der Wert von  $2,5^\circ$  ist durch  $(\text{Schlitzteilungsweite})/(\text{Anzahl der Magnetpole } 4) = 2,5^\circ$  bestimmt, wobei 36 Schlitzte angenommen sind. Da jede der Komponenten des Motordrehmoments, wie es in Zusammenhang mit jedem der Permanentmagnete erzeugt wird, um  $1/4$ -Schlitzteilungsweite verschoben ist, sind Komponenten der Drehmomentwelligkeit in Perioden einer Schlitzteilungsweite und von  $1/2$ -Schlitzteilungsweite aufgehoben und beseitigt. Außerdem wurde bereits beschrieben, dass die Komponenten von Drehmomentwelligkeit in Perioden über einer Schlitzteilungsweite durch die oben genannte Technik der Verbesserung des Wicklungsverfahrens des Stators beseitigt werden können. Außerdem wird es später beschrieben, dass die Komponenten der Drehmomentwelligkeit in Perioden unter der Hälfte von  $1/2$ -Schlitzteilungsweite oder gleich groß dadurch beseitigt werden können, dass der Rotor und der Stator einen Rotationsversatz um einen Winkel erhalten, der kleiner als die Hälfte von  $1/2$ -Schlitzteilungsweite oder gleich groß ist.

Im Folgenden wird ein Verfahren zum Erzielen des Effekts wie beim Motor der Fig. 6 unter Verwendung eines Permanentmagnet-Synchronmotors unter Verwendung zylinderförmiger Permanentmagnete PM2, wie in Fig. 8 dargestellt, beschrieben. Bei diesem Verfahren ist eine Magnetisierungsgrenze jedes der Permanentmagnete PM2 um  $2,5^\circ$ ,  $5^\circ$  bzw.  $7,5^\circ$  verschoben. Alternativ ist es möglich, einen nicht magnetisierten Abschnitt an den Magnetisierungsgrenzen der Magnetpole dadurch zu erzeugen, dass zylinderförmige Permanentmagnete verwendet werden, um einen Rotor aufzubauen, der im Wesentlichen äquivalent zum in Fig. 7 dargestellten Rotor ist.

Fig. 9 zeigt eine vergrößerte Ansicht des Rotors des in Fig. 1 dargestellten Reluktanzmotors. In Fig. 9 bezeichnet die Zahl 1 eine Rotorachse und die Zahl 3 eine Rotorstahlplatte in der Nähe der Rotorachse. Die Zahlen 4, 5 und 6 ent-

sprechen Magnetpfaden, die einen magnetischen Fluss durchlassen, und die Zahl 25 entspricht einem Hohlraum oder einer unmagnetischen Substanz. Die Zahlen 15 und 16 sind dazu verwendet, Verbindungssteile zu markieren, die die magnetischen Pfade 4, 5 und 6 aneinander und an der Rotorstahlplatte fixieren.

Mittellinien des Rotors sind durch strichpunktierte Linien mit Intervallen von  $60^\circ$  dargestellt. Die Magnetpolmitten des Rotors liegen bei  $1,67^\circ$ , bei  $3,33^\circ$ , bei  $5^\circ$ , bei  $6,67^\circ$  und bei  $8,33^\circ$  in Bezug auf die Mittellinie wie oben angegeben, und sie sind jeweils um  $(1 - \text{Statorschlitzteilungsweite}/6 \text{ Pole}) = 1,67^\circ$  in der Rotordrehrichtung verschoben. Es stehen verschiedene Kombinationsarten zum Positionieren von Verschiebungswinkeln zur Verfügung. Die Funktion hinsichtlich des Elektromagnetismus zwischen jedem der Magnetpole des Rotors und dem Stator ist mittels der oben genannten Konstruktion um den oben genannten Verschiebungswinkel in der Rotordrehrichtung verschoben. Im Ergebnis kann die Drehmomentwelligkeit in Perioden unter einer Statorschlitzteilungsweite aufgehoben werden und die Drehmomentwelligkeit kann verringert werden. Genauer gesagt, ist es aus einem geometrischen Gesichtspunkt heraus leicht verständlich, dass die Drehmomentwelligkeit in der Periode eines Schlitzes und in  $1/3$  Schlitzperiode aufgehoben ist. Außerdem wurde es bereits beschrieben, dass die Komponenten der Drehmomentwelligkeit in Perioden über der Schlitzteilungsweite durch die oben genannte Technik beseitigt werden können, gemäß der das Wicklungsverfahren für den Stator verbessert wird. Später wird es beschrieben, dass restliche Komponenten einer harmonischen Drehmomentwelligkeit in Perioden unter  $1/3$  Schlitzteilungsweite, oder diesem Wert entsprechend, dadurch beseitigt werden können, dass der Rotor und der Stator relativ um einen Winkel einer Periode des Inhalts der Harmonischen der niedrigsten Ordnung einen Rotationsversatz erhalten.

Wenn die Positionen der Magnetpole des Rotors verschoben werden, werden Rotationsversatzprobleme effektiv verringert, da Rotationsversatzwinkel auf Winkel unter  $(\text{Statorschlitzperiode}/2)$  oder auf diesen Wert verringert werden können, wenn die harmonische Drehmomentwelligkeit weiter beseitigt wird, zusätzlich zu einem Effekt einer Verringerung der Drehmomentwelligkeit selbst. Beim besonderen Reluktanzmotor, wie er in Fig. 1 und Fig. 18 dargestellt ist, wurde durch Versuch klargestellt, dass Komponenten der Drehmomentwelligkeit in Perioden unter dem Rotationsversatzwinkel, oder von diesem Wert, verringert werden können, jedoch nicht angemessen entfernt werden können, da ein Magnetfluss innerhalb des Rotors nach dem Rotationsversatz auch in der Richtung der Rotorachse erzeugt wird. In diesem Fall ist es nützlich, die Komponenten der Drehmomentwelligkeit in Perioden nahe einer Schlitzperiode durch die oben genannte Technik zu entfernen, gemäß der Magnetpole verschoben werden und nur die extrem hoch harmonischen Komponenten der Drehmomentwelligkeit durch Rotationsversatz entfernt werden. Da elektromagnetischer Stahl für Motoren im Wesentlichen eine Breite von  $0,5 \text{ mm}$  aufweist und mit einem Isolierfilm gegen Elektrizität an der Oberfläche versehen ist, ist er hinsichtlich einer Erzeugung von Wirbelstromverlusten aus Schwankungen des magnetischen Flusses in radialer Richtung und der Rotordrehrichtung resistent. Dies verursacht ein Problem dahingehend, dass die Wirbelstromverluste im Rotor und im Stator zunehmen, wenn sich der magnetische Fluss in der Rotordrehrichtung ändert. Aus diesem Grund ist es bevorzugt, wenn ein Rotationsversatz um einen möglichst kleinen Winkel ausgeführt wird.

Insbesondere für Reluktanzmotoren muss noch eine ausreichende Designtheorie wegen der komplizierten Bezie-



hung zwischen der Form und den Eigenschaften des Rotors entwickelt werden. Dann ist es wichtig, eine Technik zum Verringern von Drehmomentwelligkeit unabhängig von der Außen- und Innenform des Rotors aufzubauen. Z.B. ist der Rotor des in Fig. 18 dargestellten Reluktanzmotors so aufgebaut, dass die Außenform des Rotors nahezu ein Kreis ist und ein Muster der Innenform des Rotors so ausgebildet ist, dass eine gleichmäßige Variation der Verteilung eines magnetischen Flusses des magnetischen Pols am Rotor in der Rotordrehrichtung erzielt wird und eine sinusförmige Verteilung erzielt wird. Im Ergebnis ist ein Motor realisiert, bei dem die Drehmomentwelligkeit vergleichsweise klein ist. Durch Versuch wurde auch klargestellt, dass die Drehmomentwelligkeit dann verringert wurde, wenn das Muster im Inneren des Rotors, anders gesagt, ein Zwischenraum zwischen den engen Magnetpfaden 14, mit feinerem Muster ausgeführt wurde.

Hinsichtlich des Reluktanzmotors der Fig. 18 verbleiben Probleme. Wenn das interne Muster eines Rotors fein konstruiert ist, muss der Rotor unter Verwendung von Ätztechnik oder einer Maschine mit elektrischer Drahtentladung oder dergleichen hergestellt werden. Jedoch macht es Massenherstellung mit geringen Kosten erforderlich, dass der Zusammenbau durch ein einfacheres Verfahren wie Pressen unter Verwendung einer Stanzform möglich ist, während das sich ergebende grobe Innenmuster der in Fig. 18 dargestellten Größenordnung die Drehmomentwelligkeit nicht ausreichend verringert. Die unbeabsichtigte Existenz eines magnetischen Flusses von der Nähe eines Grenzabschnitts der Magnetpole zur Seite des Stators, wie durch eine in der Nähe der Grenzabschnitte der Magnetpole des Rotors vorhandene magnetische Substanz hervorgerufen, führt zu zusätzlichen Problemen, wie beim Abtriebsdrehmoment des Motors, beim Leistungsfaktor und beim Wirkungsgrad und Eigenschaften einer Konstantleistungsregelung durch Feldschwächungsregelung im Bereich hoher Drehzahlen sind verringert. Bisher wurde ein Kompromiss zwischen den oben genannten verschiedenen Problemen und der Drehmomentwelligkeit geschlossen, d. h., dass eine Änderung der Form des Rotors zum Überwinden der Probleme zu einer Erhöhung der Drehmomentwelligkeit führt.

Beim Reluktanzmotor der Fig. 1 und der Fig. 9, bei der die Technik zum Verringern von Drehmomentwelligkeit gemäß der Erfindung verwendet ist, ist die Außenform des Rotors nicht kreisförmig. Der Rotor ist mit einer Form mit konkaven Teilen für Widerstandsbildung gegen die Existenz eines magnetischen Flusses in den Grenzabschnitten der Magnetpole des Rotors ausgebildet, um der Existenz eines magnetischen Flusses vom Zentrum des Rotors zum Stator Widerstand entgegenzusetzen. Hinsichtlich der Innenform des Rotors ist die Breite der Freiräume 25 zwischen den magnetischen Pfaden 4, 5 und 6 so weit wie möglich ausgebildet, um die Komponenten des magnetischen Flusses in einer Richtung rechtwinklig zu den magnetischen Pfaden 4, 5 und 6 zu minimieren. Darüber hinaus ist die Innenform des Rotors angemessen grob zur Herstellung mit einer Stanzform, um Massenherstellung mittels einer Presse unter Verwendung der Stanzform mit niedrigen Kosten auszuführen.

Wenn eine derartige Rotorform ausgebildet wurde, wurde beim Stand der Technik große Drehmomentwelligkeit erzeugt. Jedoch wurde es durch Computersimulationsauswertung unter des Finite-Elemente-Verfahrens klargestellt, dass das die Technik dieser Erfindung verwendende Modell der Fig. 1 Drehmomentwelligkeit in der Größenordnung von 1/2 bis 1/20 gegenüber anderen Motoren verringern konnte. Es wurde auch klargestellt, dass die durch das Modell erzeugte Drehmomentwelligkeit kleiner als 1/3 der durch den herkömmlichen, in Fig. 18 dargestellten Reluktanzmotor er-

zeugten Drehmomentwelligkeit, oder gleich groß wie 1/3, sein konnte.

Außerdem wurde klargestellt, dass die Drehmomentwelligkeit auf einen extrem kleinen Wert in der Größenordnung des Rechenfehlers bei der Computersimulation selbst dann herabgedrückt werden konnte, wenn die Rotorform von Fig. 9 auf die in Fig. 10 dargestellte Form des Rotors 8 geändert wurde. Im Reluktanzmotor der Fig. 10 sind die Freiräume weiter als in Fig. 9 ausgebildet, und andere Motoreigenschaften als die Drehmomentwelligkeit sind verbessert.

Gemäß der Technik dieser Erfindung wird angenommen, dass die meisten Rotorformen dazu in der Lage sind, die Drehmomentwelligkeit auf einen Wert nahe bei Null zu verringern. Dies ermöglicht es, dass das Motordesign abhängig von der vorgesehenen Verwendung flexibler ist.

Nun wird auf einen Beispielsfall mit drei Phasen, vier Polen und 36 Schlitzen Bezug genommen, wobei Fig. 11 eine Schnittansicht eines dreiphasigen, vierpoligen Reluktanzmotors mit 36 Schlitzen ist, wobei die Zahl 9 den zugehörigen Rotor bezeichnet. Fig. 12 ist ein Wicklungsdiagramm des Motors, und durchgezogene Linien kennzeichnen die Wicklungen von 18 Schlitzen innerhalb der 36 Schlitze. Die durch gestrichelte Linien gekennzeichneten Wicklungen sind einige der restlichen Wicklungen in 18 Schlitzen. Es ist eine Sternverbindung verwendet, wobei der Sternpunkt mit N bezeichnet ist, und die Wicklungen der Phase U, der Phase V und der Phase W sind in 36 Abschnitten in Reihe geschaltet, wobei die Enden X, Y und Z jeder der Wicklungen verbunden sind. Jedoch sind die Enden des Abschnitts mit 18 Schlitzen in der Fig. 12 angegeben, wobei der Sternpunkt mit N bezeichnet ist. Die Erfindung kann auf eine Dreieckschaltung, parallele Wicklungen oder dergleichen angewandt werden.

Fig. 13 zeigt ein Stromphasenzeigerdiagramm für die Erfindung. Die Ströme in jedem der Schlitze in einer Darstellung, gemäß der dreiphasige Sinusströme durch die dreiphasigen Wicklungen laufen, sind in der Figur als Phasenzeiger unter Verwendung elektrischer Grade repräsentiert. Die dreiphasigen Sinusströme der Phase U, der Phase V und der Phase W werden an den Schlitze 1, 7, 13 geliefert. Außerdem werden die Ströme der Phase X, der Phase Y und der Phase Z, die in umgekehrter Richtung zum Strom der Phase U, der Phase V bzw. der Phase W laufen, an den Schlitzen 10, 16, 4 geführt. Der durch Zuführen von Strömen zweier Phasen kombinierte Strom wird dadurch den anderen Schlitzen zugeführt, dass geeignete Wicklungslängen zweier benachbarter Phasen innerhalb der Phasen U, V, W, X, Y und Z gewickelt werden.

Daher wird der Stromphasenzeiger UZ über den Schlitz 2 so bestimmt, dass er eine Amplitude aufweist, die der Amplitude des Schlitzes 1 entspricht, sowie eine Phase, die sich um 20° gegenüber der Phase für den Schlitz 1 unterscheidet, was durch zweckdienliches Auswählen der Anzahlen der Windungen der U-Phase-Wicklungen und der Z-Phase-Wicklung erfolgt. Da zwischen der Phase Z und der Phase U eine Phasendifferenz von 60° existiert, kann die Amplitude des Stromphasenzeigers UG für Komponenten der Phase U als  $(\cos 20^\circ - \sin 20^\circ / \tan 60^\circ) = 0,7422$  berechnet werden, und die Amplitude des Stromphasenzeigers ZS von Komponenten der Phase Z kann als  $(\sin 20^\circ / \sin 60^\circ) = 0,3949$  berechnet werden. Im Ergebnis hiervon wird ein Stromphasenzeiger der Phase UZ, die durch den Schlitz 2 geführt ist, dadurch erzeugt, dass U-Phase-Wicklungen, deren Windungsanzahl das 0,7422-fache im Vergleich zur Windungsanzahl der U-Phase-Wicklungen im Schlitz 1 ist, mit Z-Phase-Wicklungen, mit dem 0,3949-fachen der Anzahl von Windungen. Die Beziehung zwischen der Phase U und der Phase Z für den Schlitz 3 ist entgegengesetzt zur Beziehung für



den Schlitz 2. Daher wird der Stromphasenzeiger für die Phase ZU im Schlitz 3 als zusammengesetzter Phasenzeiger aus dem Stromphasenzeiger US und ZG dadurch erzeugt, dass U-Phase-Wicklungen mit einer Windungsanzahl, die das 0,3949-fache im Vergleich zur Windungsanzahl der U-Phase-Wicklungen im Schlitz 1 ist, aufgewickelt werden, wobei die Z-Phase-Wicklungen das 0,7422-fache der Windungsanzahl der Z-Phase-Wicklungen im Schlitz 1 aufweisen. Die Phase und die Anzahl der Windungen im Schlitz 5, 6, 8, 9 usw. werden auf analoge Weise bestimmt. Wie zuvor wird eine theoretisch unendlich hohe Anzahl von kombinierten Stromphasenzeigern dadurch erzeugt, dass die Phasen U, V, W, X, Y und Z kombiniert werden, zusätzlich zum in Fig. 13 beschriebenen Kombinationsverfahren für den Stromphasenzeiger, das das einfachste Verfahren ist. Außerdem steht jedes Kombinationsverfahren zum Kombinieren des Stromphasenzeigers jeder der Schlitze zur Verfügung.

Es wird nun auf ein Verfahren zum Verringern von Drehmomentwelligkeit durch einen Kunstgriff an der Statorkonstruktion Bezug genommen, wobei Fig. 14 ein Beispiel für drei Phasen, sechs Pole und 36 Schlitze zeigt. Sechs Schlitze und sechs Zähne werden als Funktionseinheit angesehen, und sie sind durch zugehörige Winkel PPA repräsentiert. Zwischenräume zwischen den Funktionseinheiten sind in der Uhrzeigerrichtung CW hinsichtlich einer Funktionseinheit mit Schlitzen vom Schlitz 1 bis zum Schlitz 6 als SSA1, SSA2, SSA3, SSA4, SSA5 und SSA6 angenommen. Ein Grundverfahren zum Aufbauen des Stators der Fig. 14 ist das folgende. Wenn die Mittellinie der den Schlitz 3 enthaltenden Funktionseinheit mit BASEL bezeichnet wird, sind die Mittelpositionen der Funktionseinheiten in der Uhrzeigerrichtung CW um 1/6-Schlitzteilungsweite, 2/6-Schlitzteilungsweite, 3/6-Schlitzteilungsweite, 4/6-Schlitzteilungsweite bzw. 5/6-Schlitzteilungsweite von den Mittellinien entfernt, die in der Uhrzeigerrichtung CW mit 60° abgeteilt sind. Die hier angegebene Konstruktion arbeitet so, dass der elektromagnetische Betrieb zwischen jeder Funktionseinheit des Stators und des Rotors um 1/6-Teilungsweite verschoben arbeitet, wobei angenommen ist, dass der Rotor einen sechspoligen symmetrischen Aufbau aufweist. Dies führt zu einer Verringerung der Drehmomentwelligkeit in Perioden unter 1-Schlitzteilungsweite, oder von diesem Wert, was einen ähnlichen Betrieb und ähnliche Effekte wie beim oben genannten Verfahren erzeugt, bei dem die Position jedes der Magnetpole des Rotors verschoben wird.

Ein Beispiel eines speziellen Winkels in Fig. 14, wobei SSA6 = 0 angenommen ist, wird wie folgt berechnet: Wenn die Funktionseinheit dem Schlitz 33 in der Uhrzeigerrichtung CW um 1/5-Teilungsweite entgegen der den Schlitz 3 enthaltenden Funktionseinheit verschoben wird, wird PPA wie folgt hergeleitet:

$$PPA = (60^\circ - 5/6\text{-Schlitzteilungsweite})$$

Ein Verschieben jeder der Funktionseinheiten um 1/6-, 2/6-, 3/6-, 4/6- und 4/5-Schlitzteilungsweite führt zu Folgendem:

$$\begin{aligned} 360^\circ &= 6 \times PPA + 6(\text{Schlitzteilungsweite}/6 + PX) \\ &= 360^\circ - 4 \times \text{Schlitzteilungsweite} + 6 \times PX \\ PX &= 2/3 \times \text{Schlitzteilungsweite} \end{aligned}$$

Der Durchmesser des Stators von 360° entspricht der Anzahl von Schlitzteilungsweiten. Da sich zwischen  $6 \times PPA$  und  $6 \times (\text{Schlitzteilungsweite}/6 + PX) = 5 \times \text{Schlitzteilungsweite}$  36 Schlitzteilungsweiten befinden, beträgt die Summe 41 Schlitzteilungsweiten. Zusammengefasst gilt:

$$1 \text{ Schlitzteilungsweite} = 360^\circ/41$$

$$SSA1 = 5/6 \times \text{Schlitzteilungsweite}$$

$$= SSA2 = SSA3 = SSA4 = SSA5$$

$$SSA6 = 0$$

$$5 \text{ PPA} = (60^\circ - 5/6 \text{ Schlitzteilungsweite})$$

SSA6 oder PX, die als Anfangswerte verwendet werden, können flexibel gewählt werden, und sie können mit anderen Werten versehen werden als dem Wert, der in der oben genannten Berechnung verwendet wurde.

Die Technik zum Auswählen der Amplitude und der Phase des Stromphasenzeigers auf geeignete Weise bei der Erfindung, wie oben beschrieben, kann dazu angewandt werden, die Anzahl der Windungen in jedem Schlitz in Fig. 14 zu bestimmen.

Der Effekt eines Rotationsversatzes am Rotor des in Fig. 9 dargestellten Reluktanzmotors wird nachfolgend beschrieben. Fig. 15 ist eine Zeichnung, bei der Mittellinien der Magnetpole, die an Positionen liegen, an denen der Verschiebetrage des Magnetpolzentrums jedes Rotors bei 0°, bei 1,67°, bei 3,33° bei 5°, bei 6,67° und bei 8,33° auf dem Umfang liegt, teilweise herausgezogen und auf einer Querachse mit einem Rotationsversatz von 1/6-Schlitzteilungsweite angeordnet sind. Jeder der magnetischen Pole ist um 1/6-Schlitzteilungsweite verschoben und ferner mit einem Rotationsversatz von 1/6-Schlitzteilungsweite versehen. Im Ergebnis hiervon ist 1 Schlitzteilungsweite dadurch geometrisch einem Rotationsversatz unterzogen, dass der Gesamtumfang des Rotors aufaddiert ist, wie es aus Fig. 15 erkennbar ist. Dies führt dazu, dass Komponenten der Drehmomentwelligkeit unter 1 Schlitzteilungsweite, oder von diesem Wert, beinahe vollkommen entfernt sind. Daher ist es möglich, Drehmomentwelligkeit auf günstige Weise ohne den Nachteil zu beseitigen, dass Komponenten der magnetischen Fluss in der Richtung der Rotorachse erzeugt werden, wenn der Rotationsversatzwinkel groß ist, da ein Rotationsversatz praktisch nur mit 1/6 Schlitzteilungsweite ausgeführt wird.

Nachfolgend wird ein anderes Verfahren zum Entfernen von Drehmomentwelligkeit in einer Periode unter 1 Schlitzteilungsweite, oder von diesem Wert, beschrieben, wobei das Verfahren darauf beruht, dass eine Noniusbeziehung konstruiert wird, bei der eine diskrete Teilungsweite, die in der Innenstruktur des Rotors diskret ist, kein ganzzahliges Vielfaches einer Schlitzteilungsweite des Stators ist. Bei der Beziehung zwischen den Schlitzen des Stators und unterteilten magnetischen Pfaden in der Nähe einer Rotorfläche, wie in Fig. 10 dargestellt, ist z. B. erkennbar, dass fünf unterteilte magnetische Pfade zwischen drei Schlitzteilungsweiten liegen. Dieses Noniusverfahren, das Drehmomentwelligkeit nicht ausreichend verringern kann, hat den Effekt, dass es insbesondere Inhalte höherer Harmonischer verringert. Daher kann die Verwendung des Verfahrens in Verbindung mit dem oben genannten Verfahren des Auswählens der Phase und der Amplitude des Stromphasenzeigers für jeden der Schlitze in geeigneter Weise die Drehmomentwelligkeit beinahe vollkommen beseitigen.

Nun wird auf einen Permanentmagnet-Synchronmotor mit Statorzähnen vom Typ mit vorstehendem Pol und Wicklungen, wie in Fig. 16 dargestellt, Bezug genommen, wobei es sich um einen dreiphasigen, achtpoligen Motor handelt. An einem Rotor 21 sind Permanentmagnete 20 angebracht, und achtpolige Magnetpole derselben sind in geordneter, symmetrischer Form ausgebildet. Es kann entweder eine Struktur verwendet werden, bei der Permanentmagnete am Inneren des Rotors angebracht sind, oder ein Elektromagnetfeld unter Verwendung von Erregungswicklungen anstelle von Permanentmagneten, als Konstruktion des Rotors,

um dieselbe Funktion zu erzielen. An einem Stator 22 befinden sich sechs Zähne STU, STV, STW, STUZ, STVX, STWY. Die Positionsbeziehung zwischen den Zähnen STU, STV, STW ist dergestalt, dass sie hinsichtlich mechanischer Grade um  $120^\circ$  beabstandet liegen, und auch hinsichtlich elektrischer Grade gegenüber dem achtpoligen Rotor um  $120^\circ$  beabstandet liegen, wobei ihre Phasen in der Reihenfolge der Zähne STU, STV, STW vorliegen, wenn sich der Rotor in der Uhrzeigerrichtung CW dreht. Der Zahn STUZ liegt an derjenigen Position, die hinsichtlich mechanischer Grade um  $187,5^\circ$  in der Uhrzeigerrichtung CW gegenüber dem Zahn STU voreilt und hinsichtlich elektrischer Grade in der Uhrzeigerrichtung CW hinsichtlich eines Funktionsgesichtspunkts als Motor um  $7,5^\circ \times 4 = 30^\circ$  voreilt. Die Zähne STUZ, STVX und STWY liegen in relativer Beziehung von  $120^\circ$  hinsichtlich elektrischer Grade. Wicklungen MU, MV und MW für die Phase U, die Phase V und die Phase W sind jeweils einfach durch die Zähne STU, STV und STW gewickelt. Eine Wicklung MUM, die eine U-Phase-Wicklung ist, und eine Wicklung MZM, die eine Z-Phase-Wicklung mit entgegengesetzter Phase zur Phase W ist, sind durch den Zahn STUZ gewickelt. Eine Wicklung MVM, die eine V-Phase-Wicklung ist, und eine Wicklung MXM, die eine X-Phase-Wicklung mit entgegengesetzter Phase zur Phase U ist, sind auf analoge Weise durch den Zahn STVX gewickelt. Eine Wicklung MWM, die eine W-Phase-Wicklung ist, und eine Wicklung MYM, die eine Y-Phase-Wicklung mit entgegengesetzter Phase zur Y-Phase ist, sind auf analoge Weise durch den Zahn STWY gewickelt. Außerdem entspricht die Breite in der Rotordrehrichtung für jeden der Zähne beinahe der Breite einer Magnetpol-Teilungsweite. Ein Nebenschluss zum magnetischen Pfad BPT liegt an jeder Position zwischen den Zähnen, um einen Teil des magnetischen Flusses im zwischen den Zähnen liegenden Teil des Rotors innerhalb des magnetischen Flusses zu führen, der vom Rotor erzeugt wird, was durch den Nebenschluss zum magnetischen Pfad BPT zu einem Jochteil erfolgt. Der magnetische Fluss übt eine nachteilige Funktion aus, wie das Hindurchleiten eines magnetischen Teilflusses durch jeden der Zähne, und er führt zu Nachteilen hinsichtlich einer Verringerung des Abtriebsdrehmoments des Motors.

Die Ströme an jedem der Zähne und die zugehörigen Wicklungen sind ähnlich der Funktion des in Fig. 5 dargestellten Stromphasenzeigers, wenn ein dreiphasiger Sinusstrom mit Phasen U, V und W zum Motor von Fig. 16 geführt wird. Zähne STU, STV und STW und ihre Wicklungen entsprechen dem Stromphasenzeiger U, V und W in Fig. 5, während Zähne STUZ, STVX und STWY und ihre Wicklungen dem Stromphasenzeiger UZ, VX, WY in Fig. 5 entsprechen. Außerdem muss die Anzahl der Windungen in den Wicklungen MUM, MZM, MVM, MXM, MWM notwendigerweise das 0,57735-fache der Anzahl der Windungen der Wicklung MUM sein, genau wie im Fall der Fig. 5. Demgemäß arbeitet der Motor von Fig. 16, wenn eine sechsheufige Sinusstromregelung ausgeführt wird. Die Komponenten der Drehmomentwelligkeit in Perioden über der Periode von  $30^\circ$  hinsichtlich elektrischer Grade und  $7,5^\circ$  hinsichtlich mechanischer Grade sind entfernt und treten bei der Konstruktion nie auf.

Der Permanentmagnetmotor mit der vorstehenden Konstruktion der Fig. 16 ist ein Beispiel, das die Konstruktion realisiert, bei der die Phase und die Amplitude gleichmäßig arbeiten, wenn der Betrieb des Motors im Stromphasenzeiger an jedem der Zähne arbeitet, und es kann möglich sein, innerhalb des Vorhabens verschiedene Modifizierungen auszuführen. Zu den Modifizierungen gehören Verfahren wie z. B. ein Erhöhen der Anzahl der Zähne, um das Strompha-

senzeigerdiagramm der Fig. 13 zu realisieren, die gleichzeitige Verwendung zweier Phasen und dreier Phasen sowie der Aufbau eines Motors als vielphasiger Motor, wobei es sich um einen Motor mit vier Phasen oder mehr handelt, und Kombinationen der Verfahren oder dergleichen.

Nachfolgend werden Verfahren zum Verringern von Drehmomentwelligkeit in Perioden unter der Periode von  $7,5^\circ$  hinsichtlich mechanischer Grade und  $30^\circ$  hinsichtlich elektrischer Grade, oder von diesem Wert, beschrieben. Ein Verfahren besteht darin, dass der Stator und der Rotor einen Relativrotationsversatz von  $7,5^\circ$  hinsichtlich mechanischer Grade erhalten. Durch den Rotationsversatz kann beinahe die gesamte Drehmomentwelligkeit in Perioden unter der Periode von  $7,5^\circ$  hinsichtlich mechanischer Grade, oder von diesem Wert, verringert werden. Daher kann die Drehmomentwelligkeit des Motors der Fig. 16 durch den Rotationsversatz in Verbindung mit den Effekten der oben genannten Technik beinahe vollkommen verringert werden.

Außerdem macht eine Konstruktion, bei der die Anzahl der Zähne erhöht wird, um den Rotationsversatzwinkel zu minimieren, wie im Stromphasenzeigerdiagramm der Fig. 13 angegeben, den Motor effektiver, da der Nachteil besteht, dass ein größerer Rotationsversatzwinkel das Abtriebsdrehmoment verringert. Im Gegensatz hierzu hat die Konstruktion den Nachteil, dass die Kompliziertheit der Motorkonstruktion erhöht ist.

Als andere Verfahren zum Verringern von Drehmomentwelligkeit existieren Verfahren des Verschiebens eines zweigeteilten Motors in axialer Richtung um  $3,75^\circ$  hinsichtlich mechanischer Grade relativ zur Rotordrehrichtung, ein Verschieben eines dreigeteilten Motors um  $2,5^\circ$  und ein Konzipieren der Magnetpolkonstruktion des Rotors in solcher Weise, dass die Verteilung in der Rotordrehrichtung für den Magnetfluss auf der Rotorfläche sinusförmig ist.

Nachfolgend werden Herstellgesichtspunkte für den Permanentmagnetmotor der Fig. 16 beschrieben. Fig. 16 zeigt den Aufbau, wie er für den elektromagnetischen Betrieb als Motor erforderlich ist. Jedoch können Variationen wie eine Unterteilung eines Eisenkerns des Stators, um die Wicklungsarbeiten zu vereinfachen, angewandt werden. Ein Beispiel hierzu ist das folgende. Jeder Nebenschluss eines magnetischen Pfads BPT wird in einem Zustand erzeugt, wie er durch durchgezogene Linien und gestrichelte Linien 23 angezeigt wird, und er wird gegen den Stator 22 isoliert, um die Zwischenräume zwischen benachbarten Zähnen groß einzustellen. Jeder Nebenschluss des magnetischen Pfads BPT wird angebracht, nachdem jede der Wicklungen mittels einer Spulenwickleinrichtung gewickelt wurde. Ein Befestigungselement 24, das den Nebenschluss des magnetischen Pfads BPT mit dem benachbarten Zahn verbindet und an ihm festklammert, wenn die Fixierfestigkeit des Nebenschlusses des magnetischen Pfads niedrig ist, ist vorzugsweise eine unmagnetische Substanz.

Durch den Zwischenraum zwischen den Zähnen läuft bei den Wicklungsarbeiten im Normalzustand eine Wicklungsführungsstange zum Führen der Wicklungen der Spulenwickleinrichtung. Daher ermöglicht es ein weites Einstellen der Zwischenräume zwischen den Zähnen, die Wicklungsarbeit mit hoher Geschwindigkeit auszuführen. Unter Verwendung der erhöhten Arbeitsflexibilität kann eine Wicklung mit höheren Dichten mit präziserer Windungsarbeit erzielt werden.

Obwohl die Erfindung unter Verwendung bestimmter Beispiele beschrieben wurde, sind eine Anwendung, Kombination und Modifizierung beim Ändern der Anzahl der Phasen, der Pole und der Schlitze des Motors möglich, und dies wird von dieser Erfindung umfasst.

Gemäß der Erfindung kann die Drehmomentwelligkeit in

verschiedenen Motorperioden durch jede der Techniken oder durch jede funktionsfähige Kombination der Techniken verringert werden. Dies führt zum Erzielen genauer Steuerung und zu einer Verringerung der Schwingungen und Störungen. Beim Konzipieren eines Motors wird häufig ein Kompromiss zwischen Verbesserungen verschiedener Funktionsarten und einer Erhöhung der Drehmomentwelligkeit angetroffen, und eine Technik zum Verringern von Drehmomentwelligkeit unabhängig von der internen Konstruktion eines Rotors führt zu Effekten, dass die Designflexibilität für einen Motor extrem zunimmt und sich Verbesserungen der Motorfunktionen ergeben. Außerdem kann die Erfindung bei beinahe allen Motortypen angewandt werden, wie bei einem Permanentmagnet-Synchronmotor, einem Reluktanzmotor und einem Induktionsmotor.

Darüber hinaus kann die Produktivität für den Motor erhöht werden und Wicklungen können mit höheren Dichten hergestellt werden, da der Nebenschluss des magnetischen Pfads BPT nach den Wicklungsarbeiten an einem Permanentmagnet-Synchronmotor mit vorstehenden Polen montiert werden kann. Die Verwendung von Wicklungen hoher Dichte erhöht das Abtriebsdrehmoment.

#### Patentansprüche

1. In einem vielphasigen Wechselstrommotor mit mehreren Schlitzen zum Anordnen einer Wicklung auf einem am Umfang liegenden Stator ein Motor mit verringerter Drehmomentwelligkeit, bei dem eine Wicklung jeder Phase auf solche Weise durch jeden der Schlitze gewickelt ist, dass das Produkt aus der Anzahl der Windungen in jedem der Schlitze auf dem Stator und dem Strom die Phase und Amplitude des Stromphasenzeigers, wie durch Ampere und die Anzahl der Windungen repräsentiert, ist, und es für jeden der Schlitze beinahe gleich wird, wenn der vielphasige, sinusförmige Wechselstrom zugeführt wird.
2. Motor mit verringerter Drehmomentwelligkeit nach Anspruch 1, ferner mit:  
einem Stator, wobei eine Position in einer Rotordrehrichtung für jeden der Zähne gleichmäßig am Innenradius desselben liegt; und  
Schlitzen, die auf solche Weise ausgebildet sind, dass sie eine solche Flächenbeziehung aufweisen, dass eine Querschnittsfläche jedes der Schlitze grob gesprochen proportional zum Umfang der Wicklungen in jedem der Schlitze ist.
3. In einem vielphasigen Wechselstrommotor mit mehreren Schlitzen zum Anordnen einer Wicklung auf einem am Umfang liegenden Stator ein Motor mit verringerter Drehmomentwelligkeit, bei dem jeder Zwischenraum zwischen den Zähnen am Stator grob gesprochen proportional zur Stärke des Stromphasenzeigers, wie durch die in jedem der Schlitze angeordnete Wicklung erzeugt, und proportional zur maximalen Stromstärke ist.
4. Motor mit verringerter Drehmomentwelligkeit nach Anspruch 1, ferner mit einem Rotor mit mehreren magnetischen Polen, die so positioniert sind, dass die Position in der Rotordrehrichtung jedes der magnetischen Pole um NN/NR einer Schlitzteilungsweite (wobei NN eine ganze Zahl ist, die magnetpolmäßig bestimmt ist, wobei zwei oder mehr ganze Zahlen für alle Magnetpole am Rotor vorliegen, und wobei NR eine eindeutige ganze Zahl für den Rotor ist, die einen Verschiebetyp für die Magnetpole am Rotor zur Rotordrehrichtung repräsentiert) entgegen einer Position, die unter entsprechender Beabstandung liegt, zur Rotordrehrichtung

lung verschoben ist.

5. Motor mit verringerter Drehmomentwelligkeit nach Anspruch 4, der so aufgebaut ist, dass der Rotor und der Stator einen relativen Rotationsversatz um einen Winkel unter (Schlitzteilungsweite/2), oder von diesem Wert, aufweisen oder sie in der Rotordrehrichtung relativ versetzt sind, wobei eine Unterteilung in zwei oder mehr Sätze in Richtung der Rotorachse vorliegt, um entsprechende Effekte zum Rotationsversatz zu erzielen.

6. Bei einem Motor, der so aufgebaut ist, dass die interne Struktur jedes von magnetischen Polen an einem Rotor elektrisch diskret ist, ein Motor mit verringertem Drehmoment nach Anspruch 4, wobei eine Noniusbeziehung dahingehend, dass eine diskrete Teilungsweite, die in der internen Struktur des Rotors diskret ist, kein ganzzahliges Vielfaches einer Schlitzteilungsweite des Stators ist, gebildet ist.

7. Bei einem Permanentmagnet-Synchronmotor, bei dem die Nordpole und die Südpole aufeinanderfolgend in der Rotordrehrichtung auf dem Rotorumfang liegen, ein Motor nach Anspruch 4 oder 5, ferner mit einem Rotor, bei dem eine Grenzposition zwischen dem magnetischen Nordpol und dem magnetischen Südpol um NN/NR einer Schlitzteilungsweite des Stators entgegen seiner mit entsprechender Beabstandung liegenden Position in der Rotordrehrichtung verschoben ist.

8. Bei einem vielphasigen Wechselstrommotor, bei dem mehrere Schlitze zum Anordnen einer Wicklung auf einem Stator am Umfang liegen, ein Motor mit verringerter Drehmomentwelligkeit mit einem Stator, wobei dann, wenn die Anzahl der Magnetpole auf dem Stator als NPP angenommen wird, der Stator funktionsmäßig in der Rotordrehrichtung in die Anzahl NPP1 unterteilt ist, die kleiner als oder gleich groß wie NPP ist, und ein Funktionsblock des unterteilten Stators um NPP2/NPP1 einer Schlitzteilungsweite des Stators (wobei NPP2 eine ganze Zahl ist) entgegen einer auf der äquivalent liegenden Position in der Rotordrehrichtung verschoben ist.

9. Bei einem Permanentmagnet-Synchronmotor mit NB-Phase mit einem Stator mit vorstehender Struktur, wobei eine einzelne Wicklung des Stators durch einen einzelnen Zahn gewickelt ist, ein Motor mit verringerter Drehmomentwelligkeit mit:  
Statorzähnen, deren Anzahl größer als oder gleich groß wie (NB + 2) ist, wobei jeder der zwei oder mehr Zähne des Stators eine zusammengesetzte Wicklung aufweist, die durch Wicklungen von zwei oder mehr Phasentypen gewickelt ist.

10. Motor mit verringerter Drehmomentwelligkeit nach Anspruch 9, bei dem  
eine Position in der Rotordrehrichtung jedes der Zähne des Stators auf dem Umfang des Stators an einer Position AE hinsichtlich elektrischer Grade angeordnet ist, an der Phasen über (NB + 2)-Typen, oder von diesem Wert, liegen,  
die Amplitude des Stromphasenzeigers jeder der Zähne grob gesprochen gleich ist, wenn die Gesamtsumme für den Stromphasenzeiger eine Wicklung, die durch jeden der Zähne des Stators gewickelt ist, als Stromphasenzeiger jedes der Zähne repräsentiert ist; und  
die Richtung des Stromphasenzeigers grob gesprochen mit einer Phase hinsichtlich elektrischer Grade für eine Position in der Rotordrehrichtung übereinstimmt, wo jeder der Zähne liegt.

11. Motor mit verringerter Drehmomentwelligkeit nach Anspruch 9, bei dem,

wenn eine Position in der Rotordrehrichtung jedes der Zähne des Stators hinsichtlich elektrischer Grade als AE angenommen wird, der elektrische Gradwert AE oder  $(AE - 180^\circ)$  jedes der Zähne an einer Position liegt, die in gleicher Weise durch die Zahl eines ganzzahligen Werts NSK zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  unterteilt ist, und  
der Rotor und der Stator um einen Winkel, der grob gesprochen  $(180^\circ/\text{NSK})$  oder um einen Winkel, der ein ganzzahliges Vielfaches von  $(180^\circ/\text{NSK})$  ist, einen relativen Rotationsversatz einnehmen.

---

Hierzu 20 Seite(n) Zeichnungen

---

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

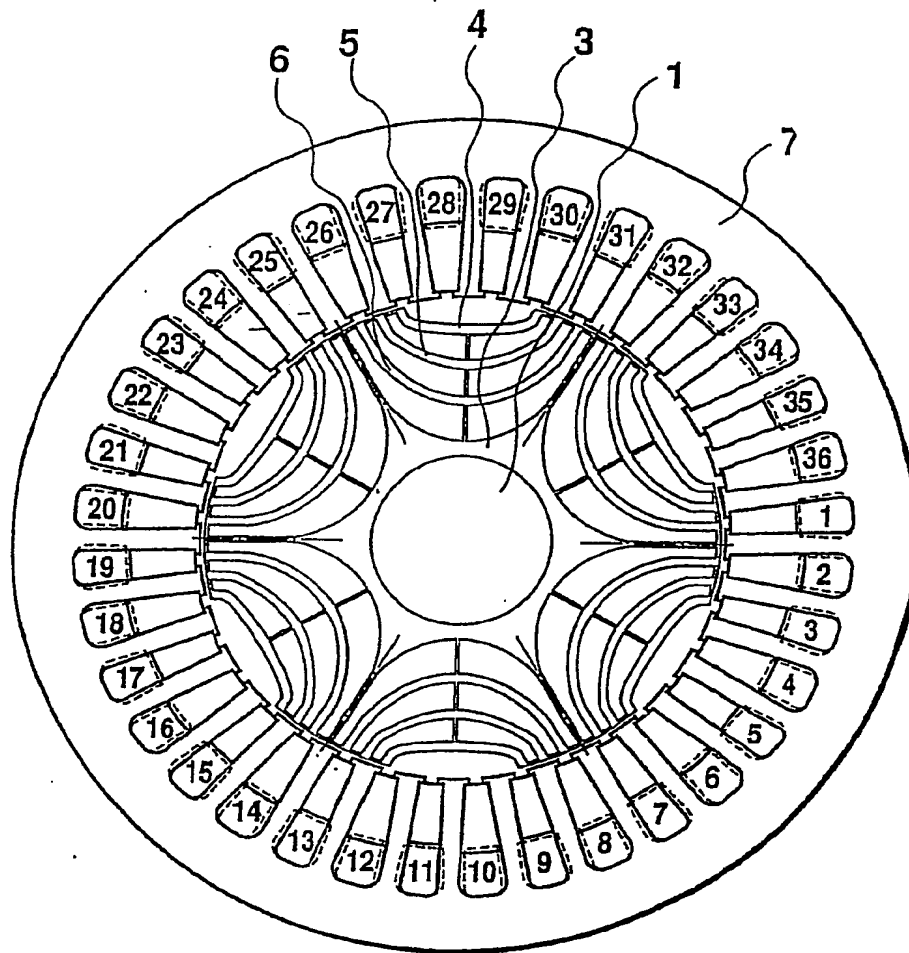


Fig. 1

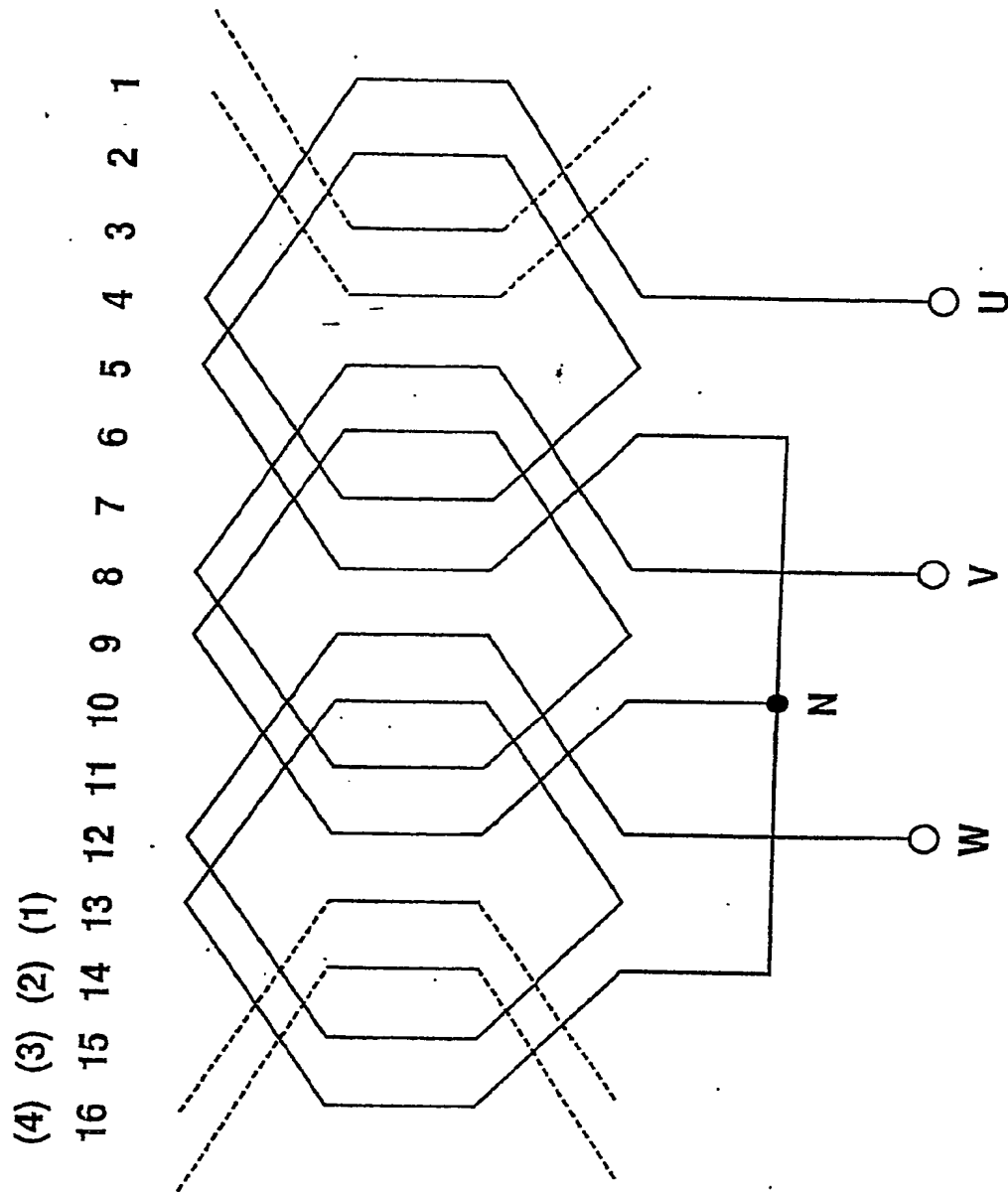
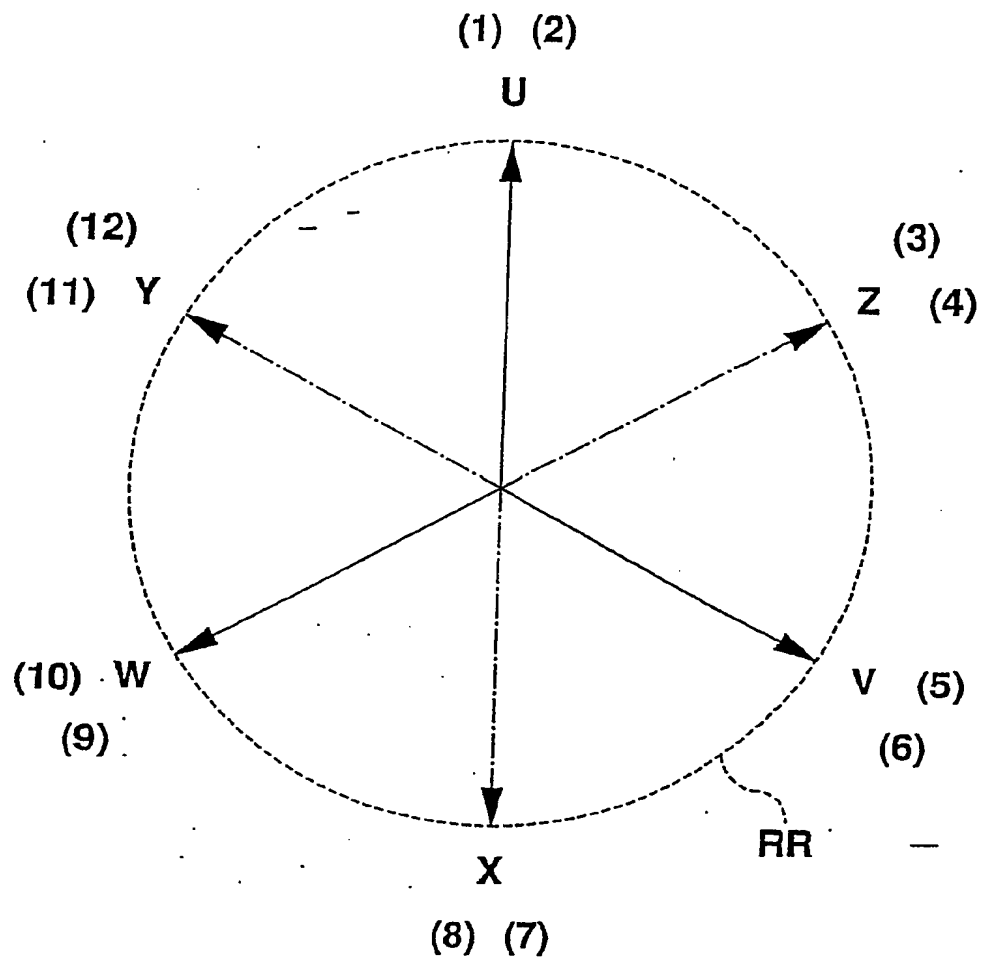


Fig. 2



**Fig. 3**



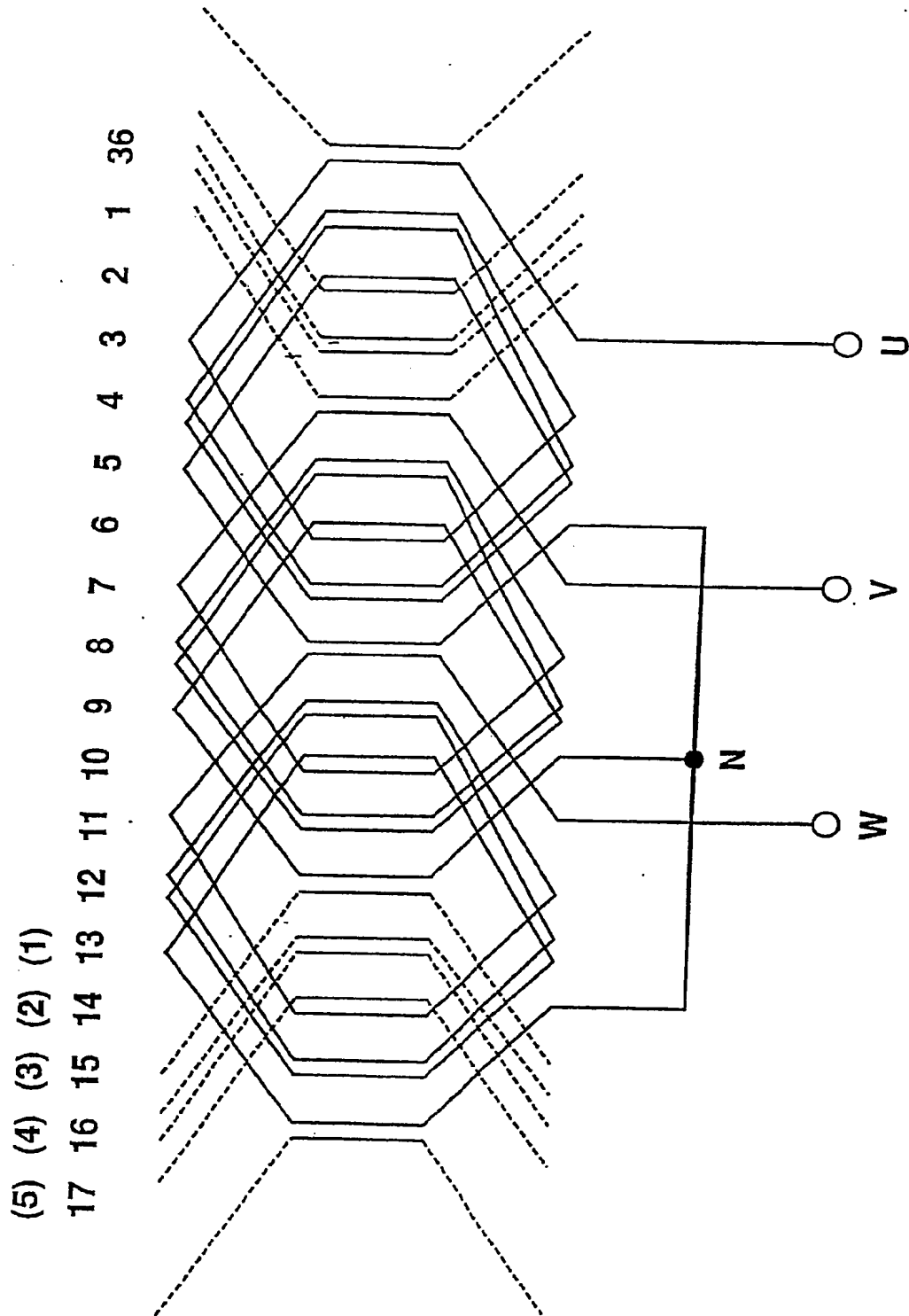


Fig. 4

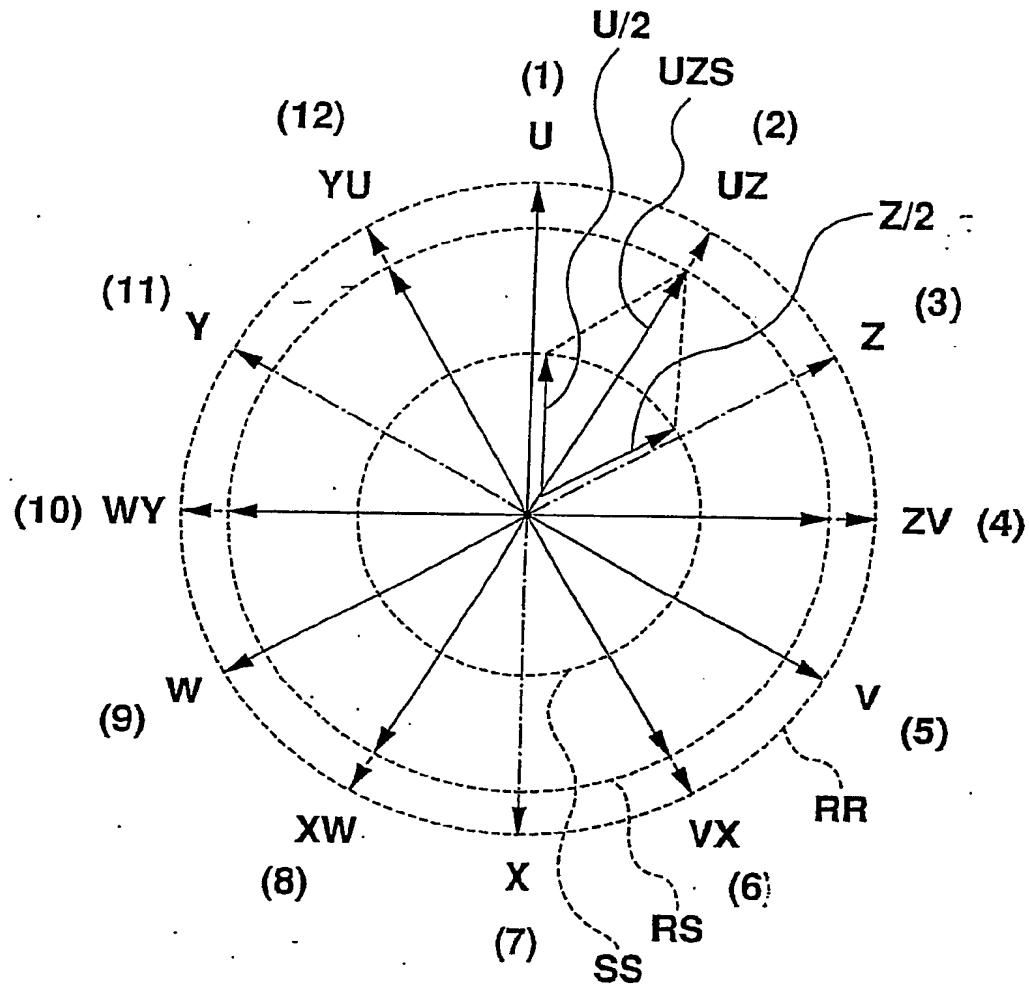


Fig. 5

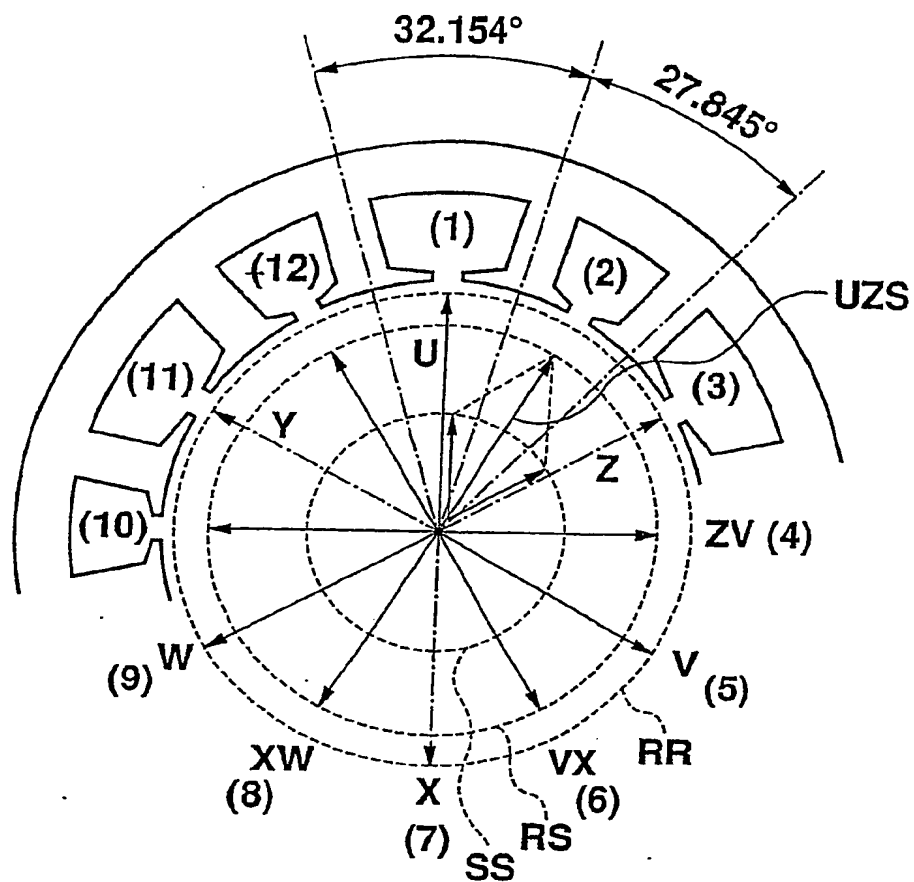


Fig. 6

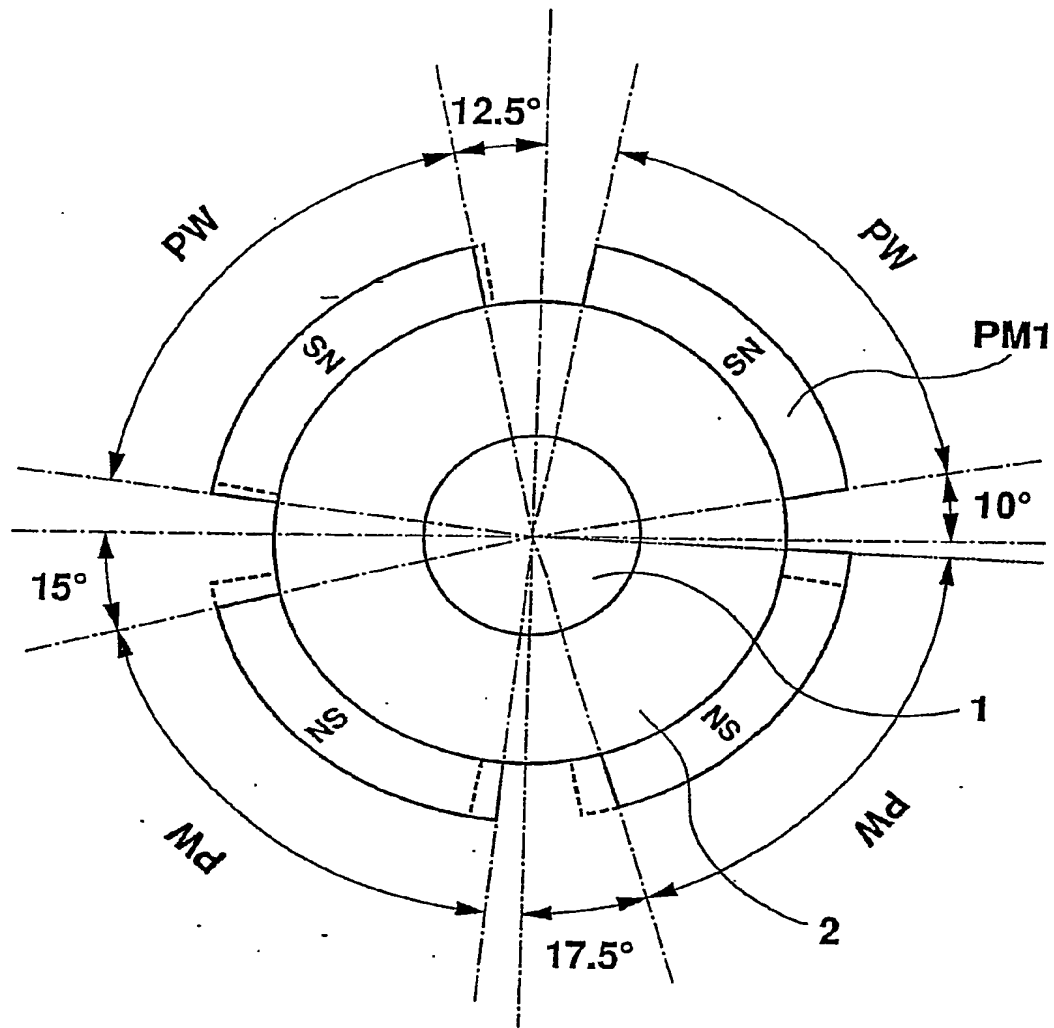


Fig. 7

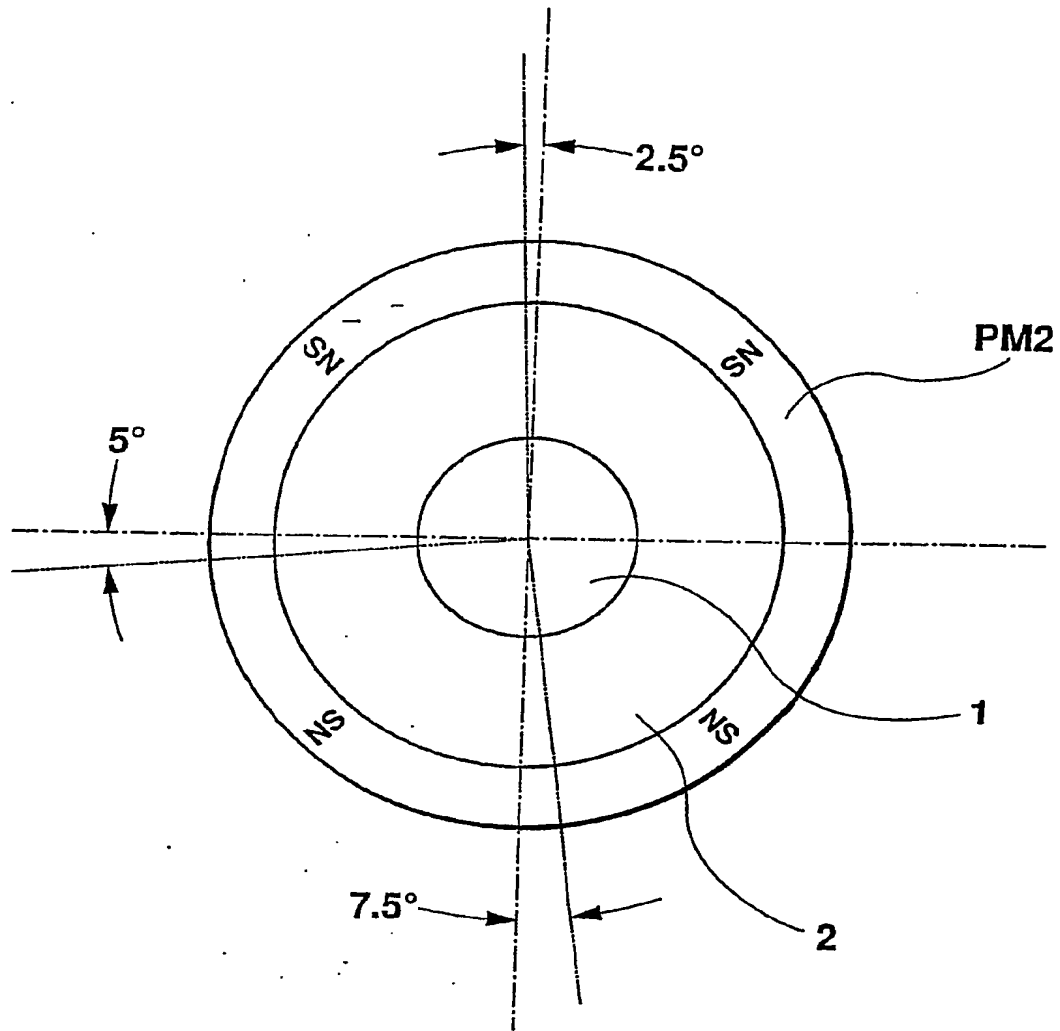


Fig. 8

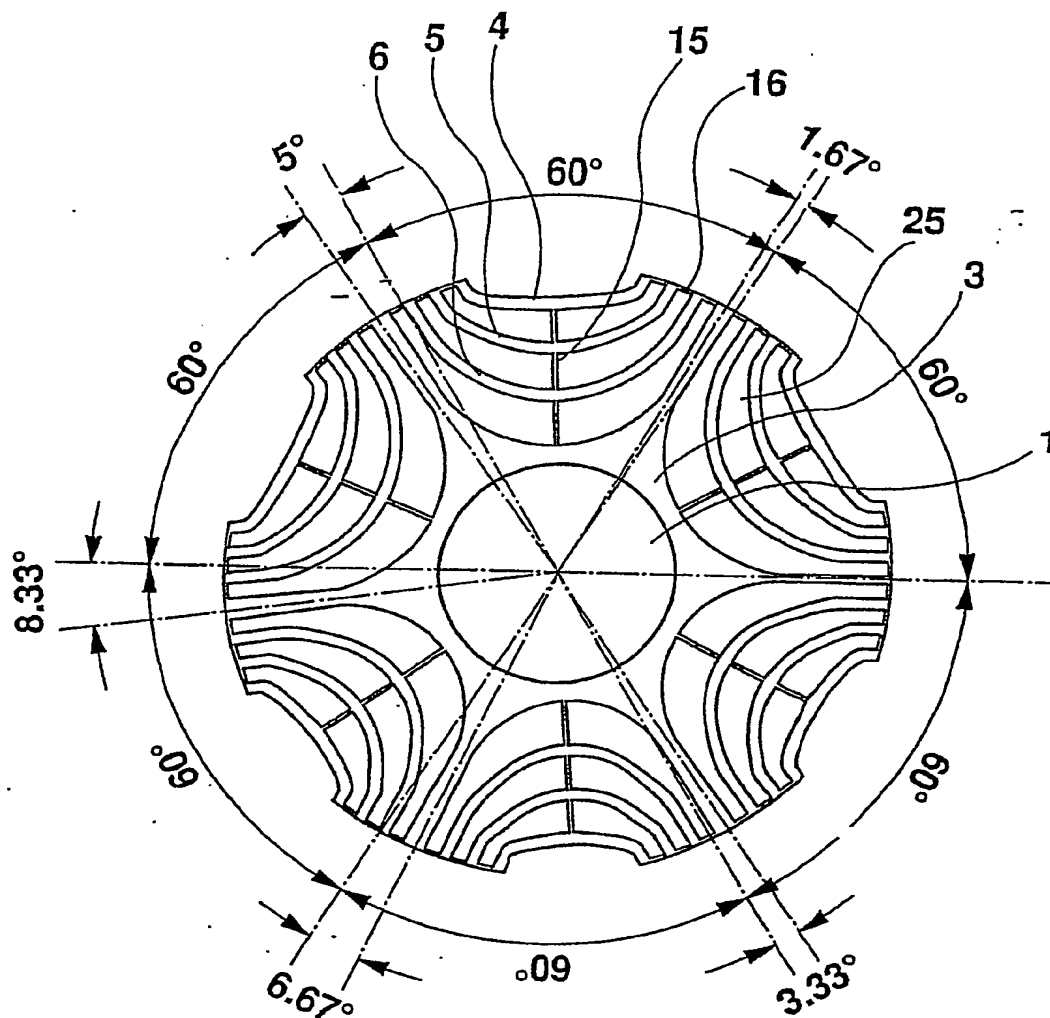


Fig. 9

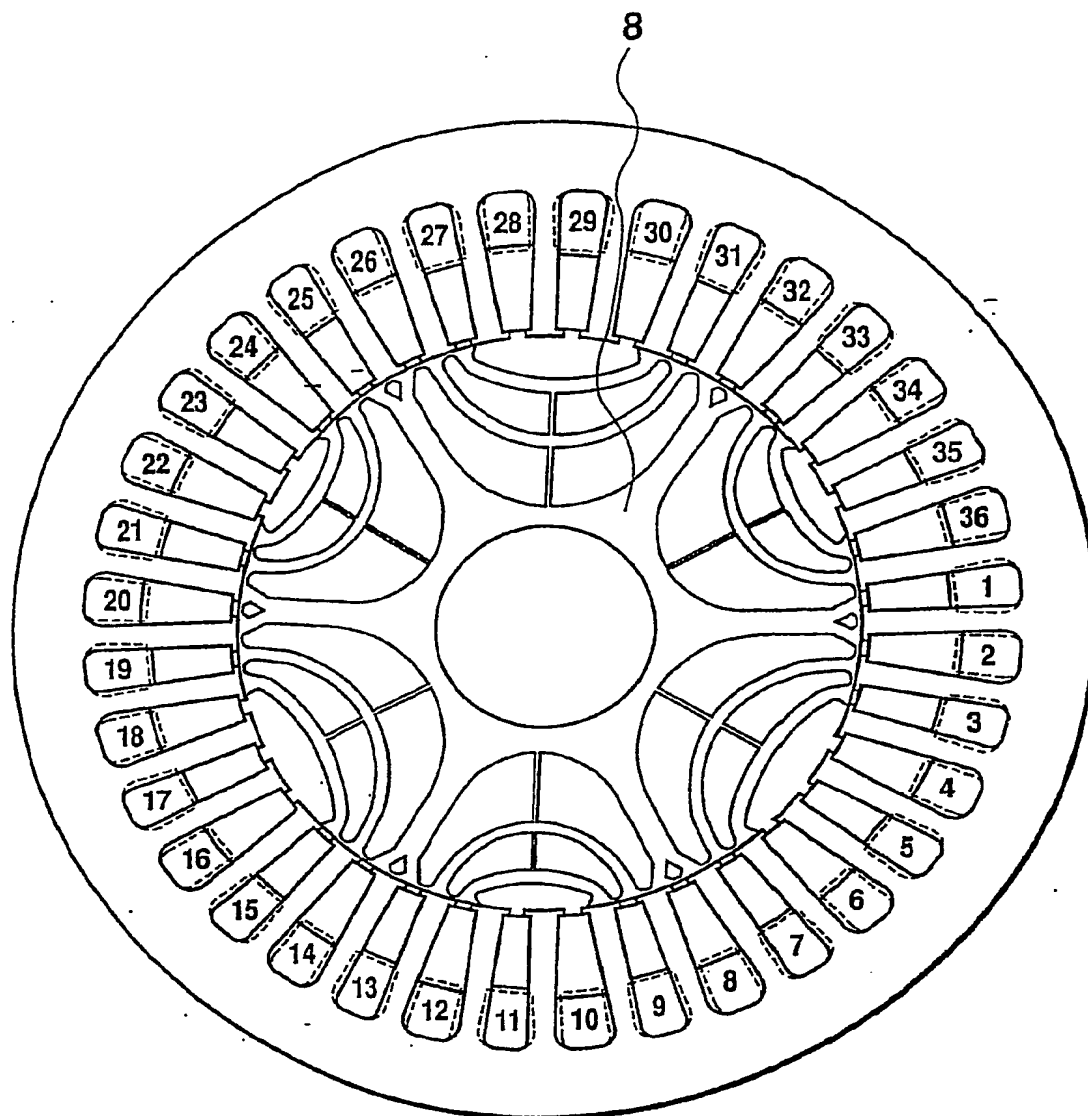


Fig. 10



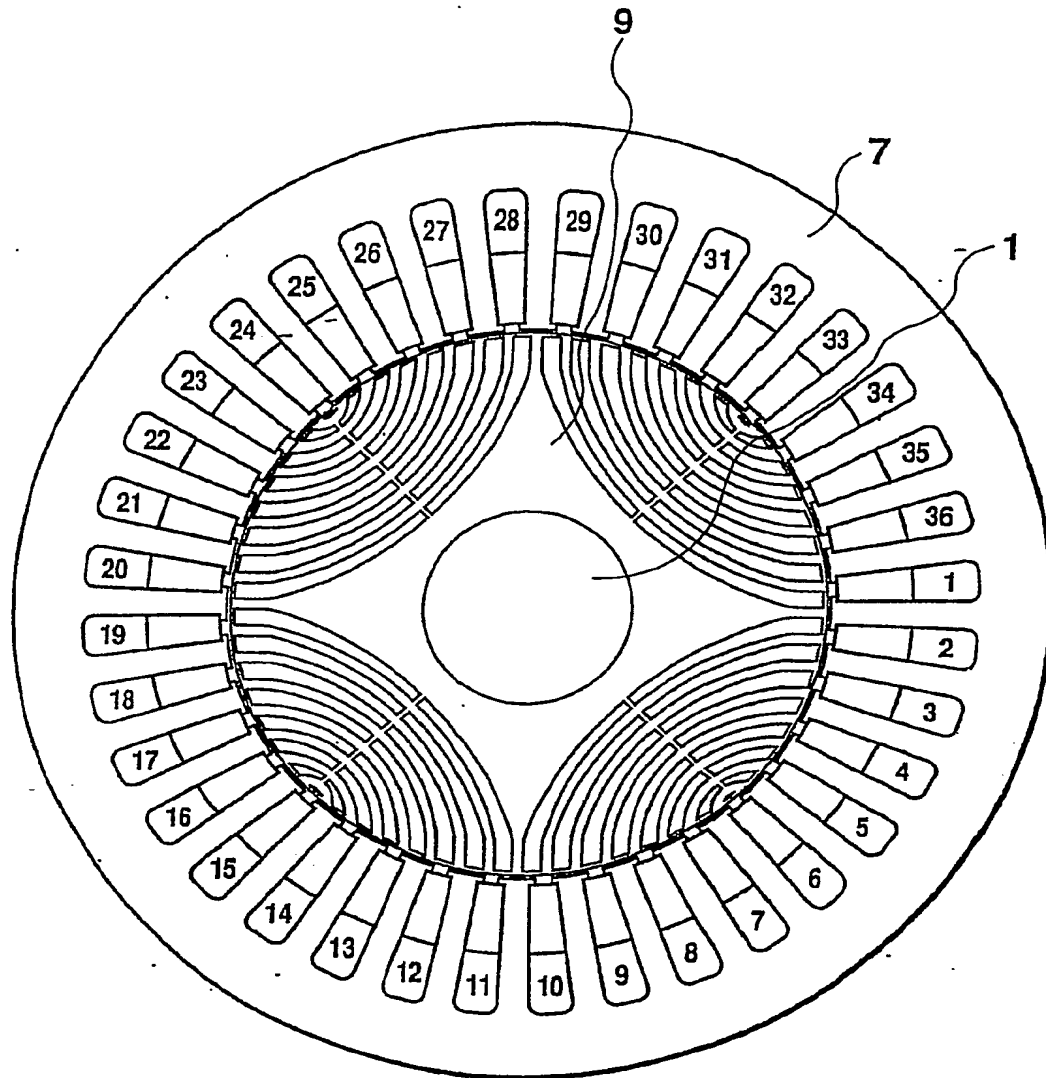
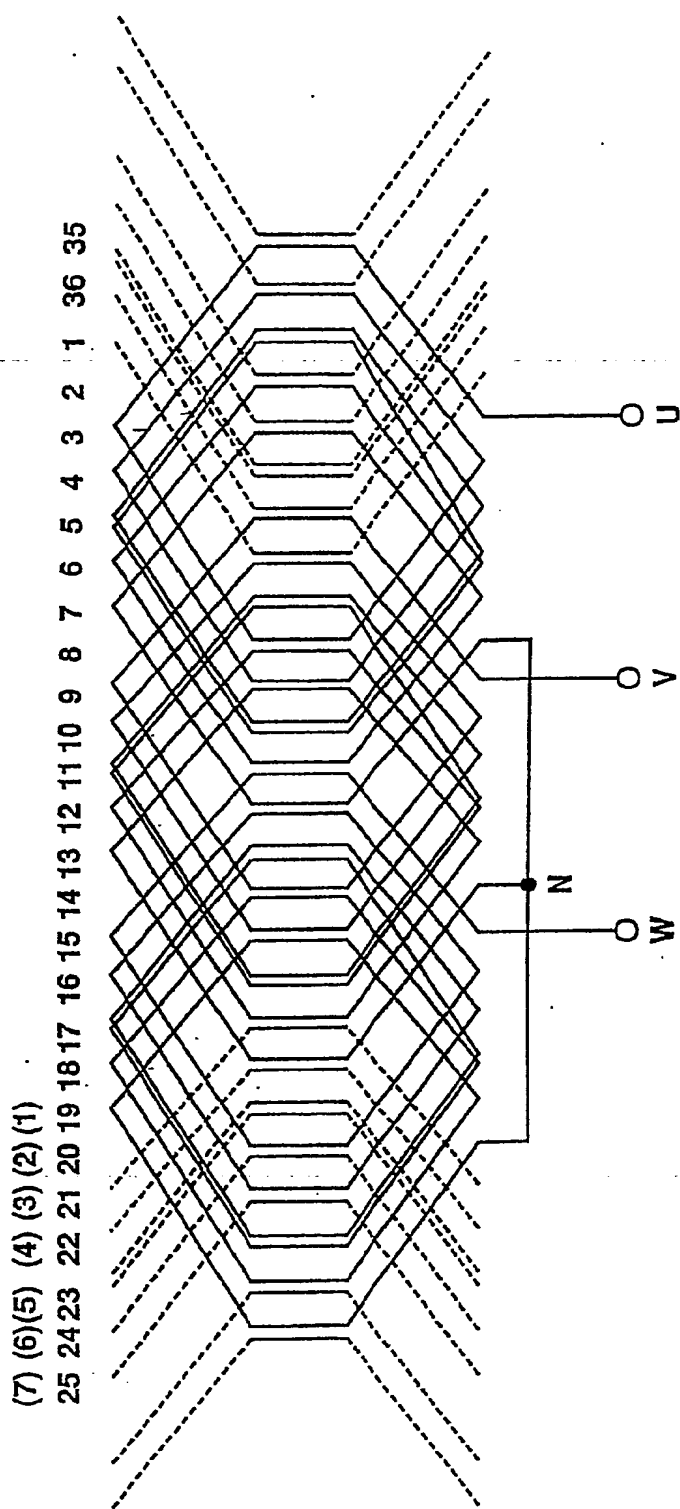
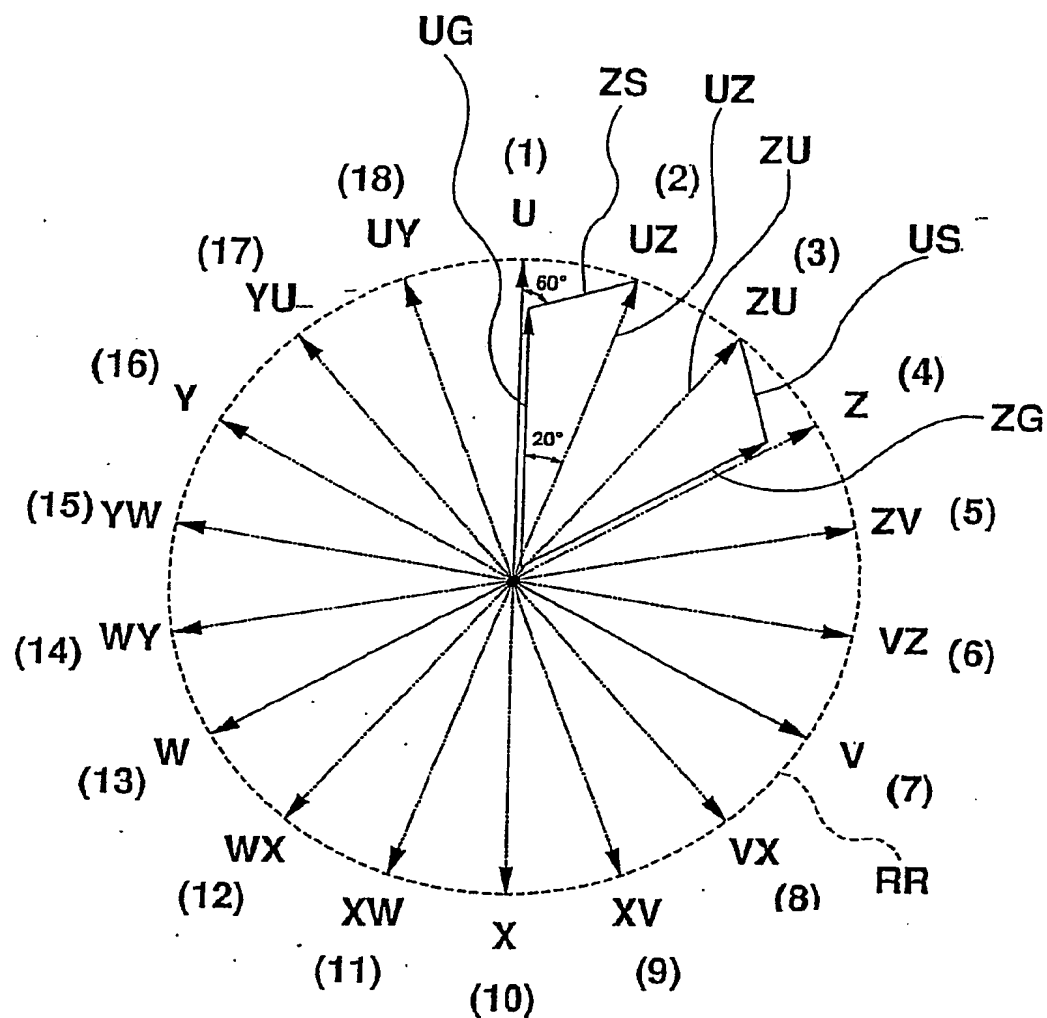


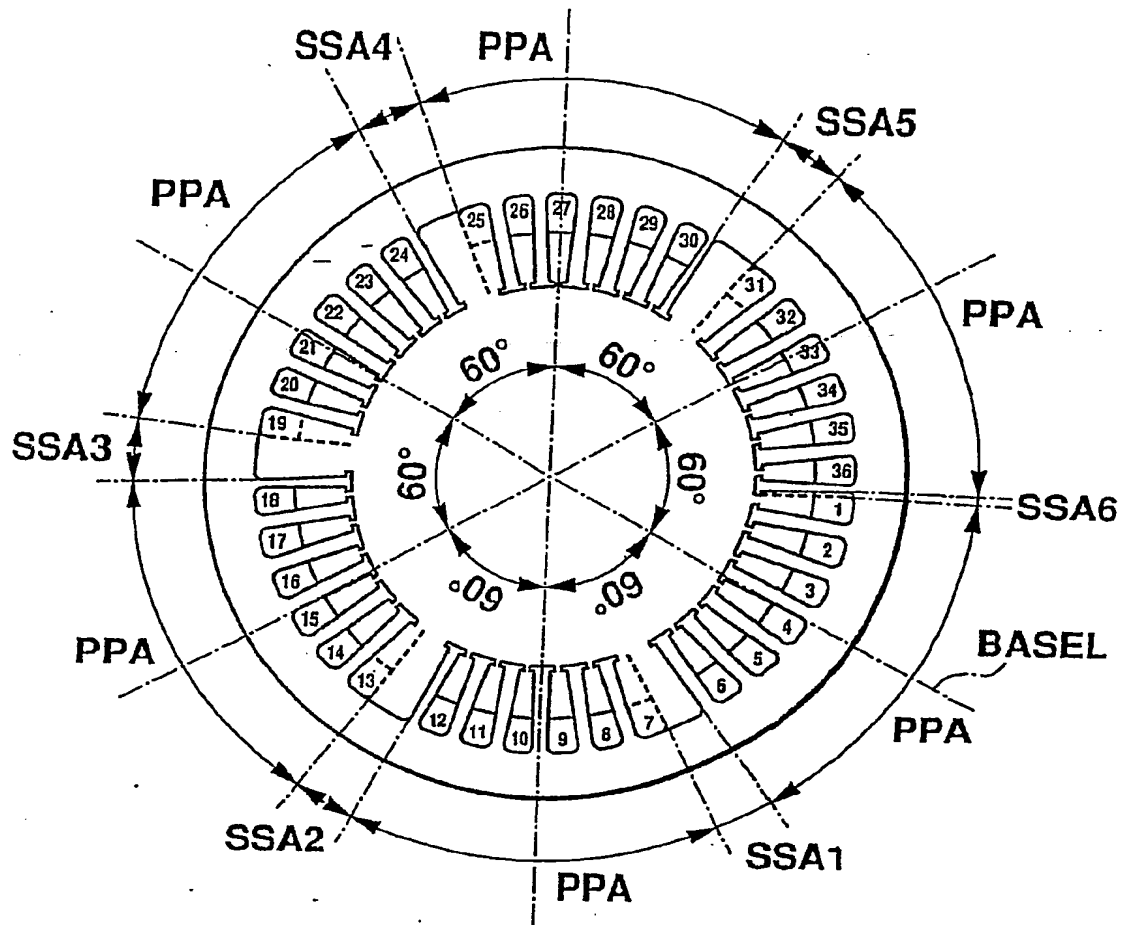
Fig. 11



**Fig. 12**



**Fig. 13**



**Fig. 14**

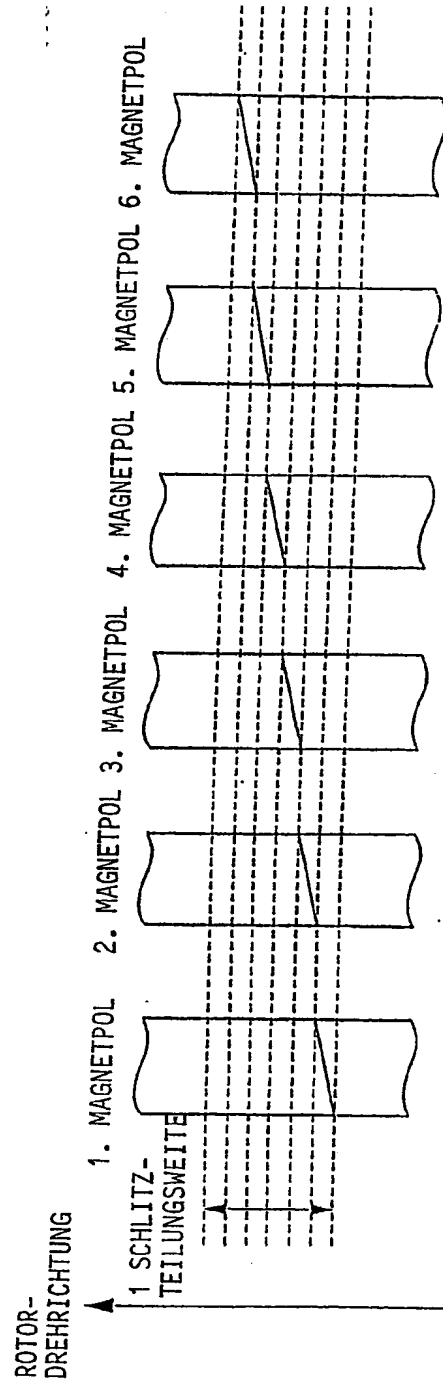


Fig. 15

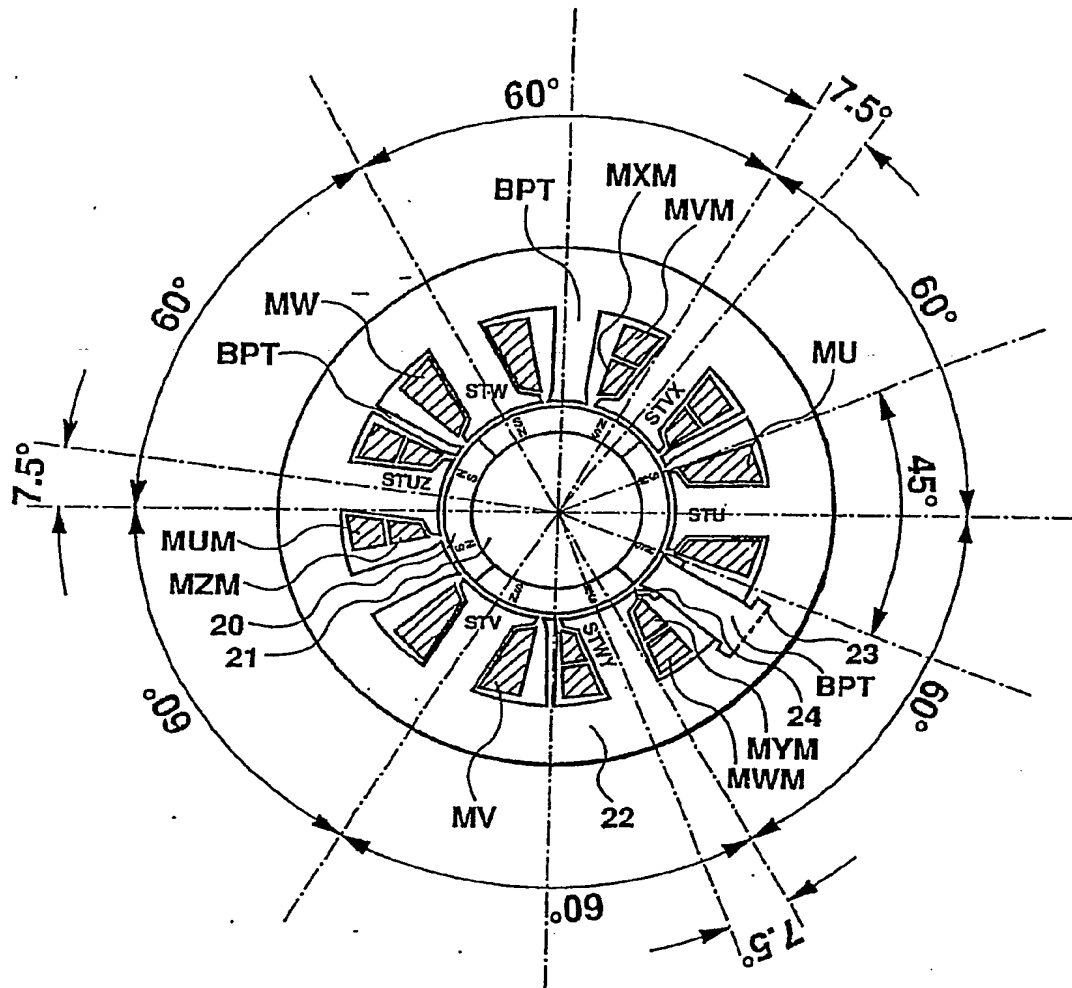


Fig. 16

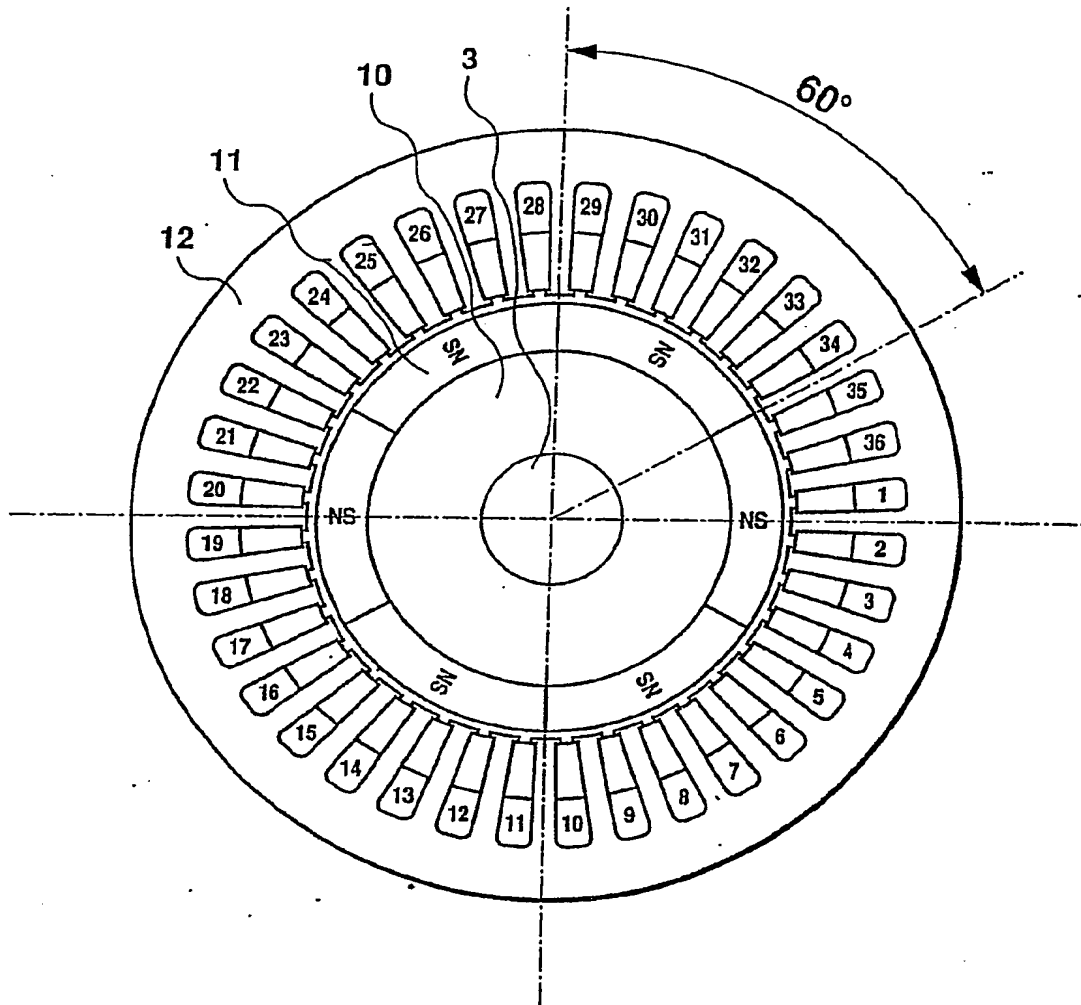


Fig. 17



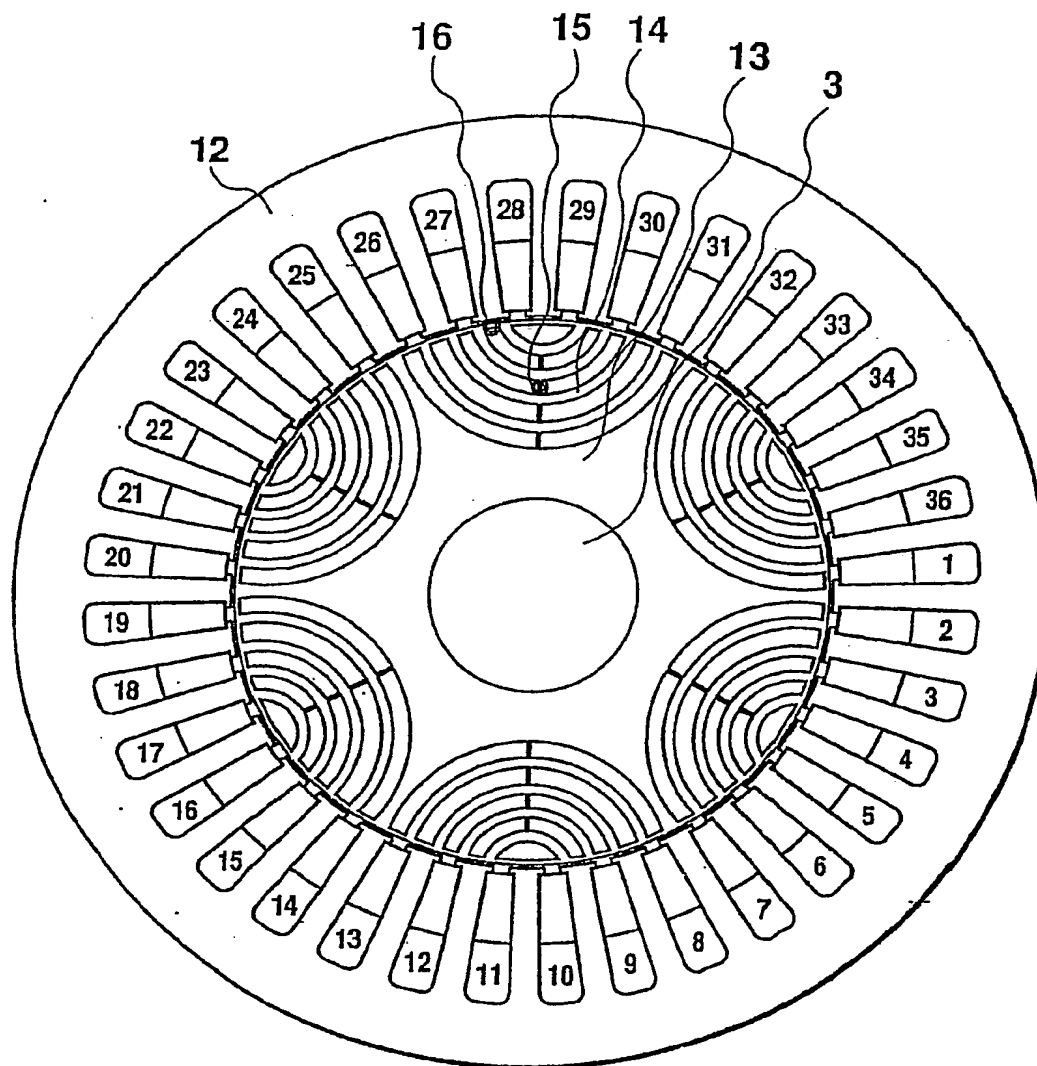


Fig. 18

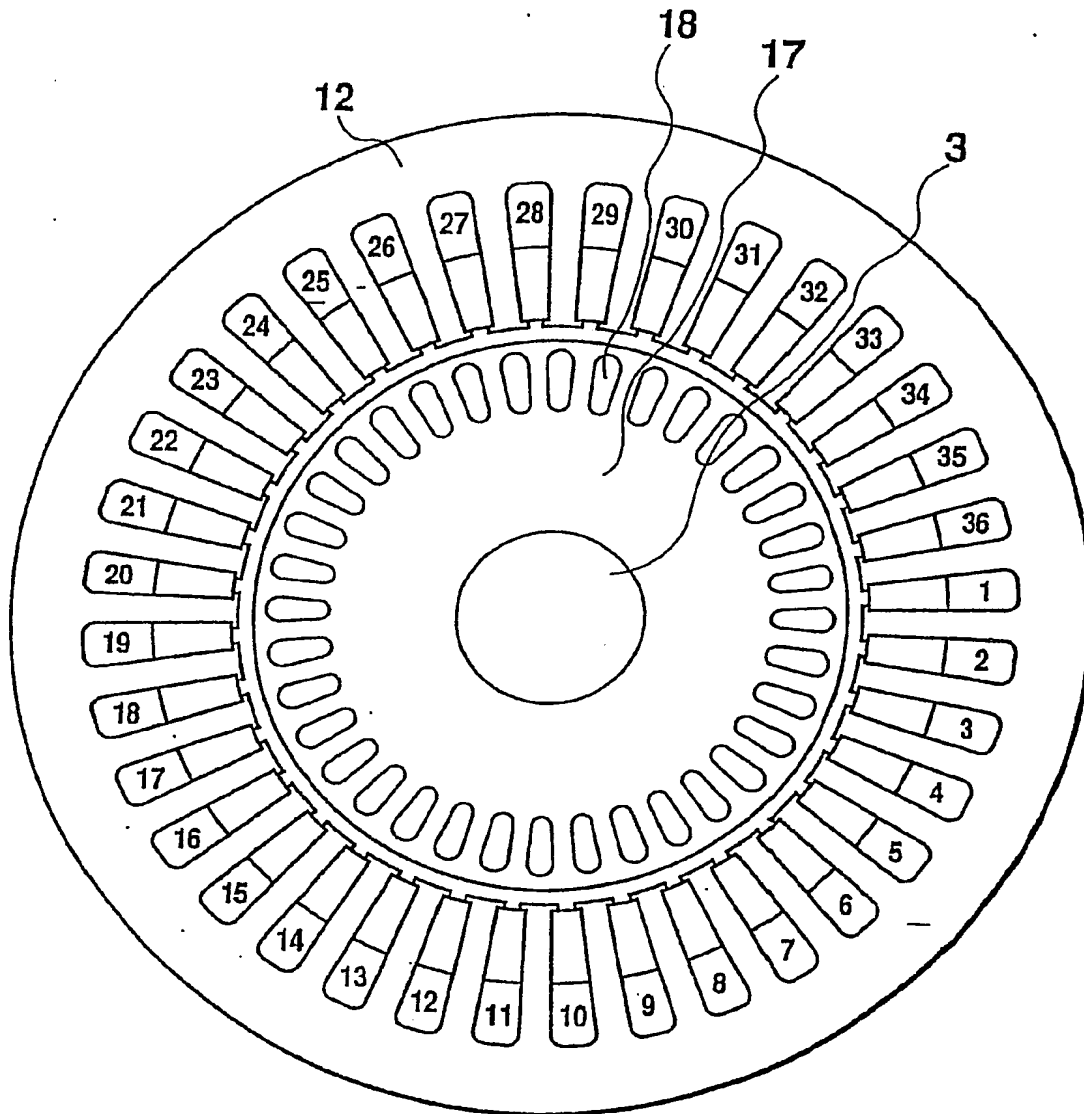
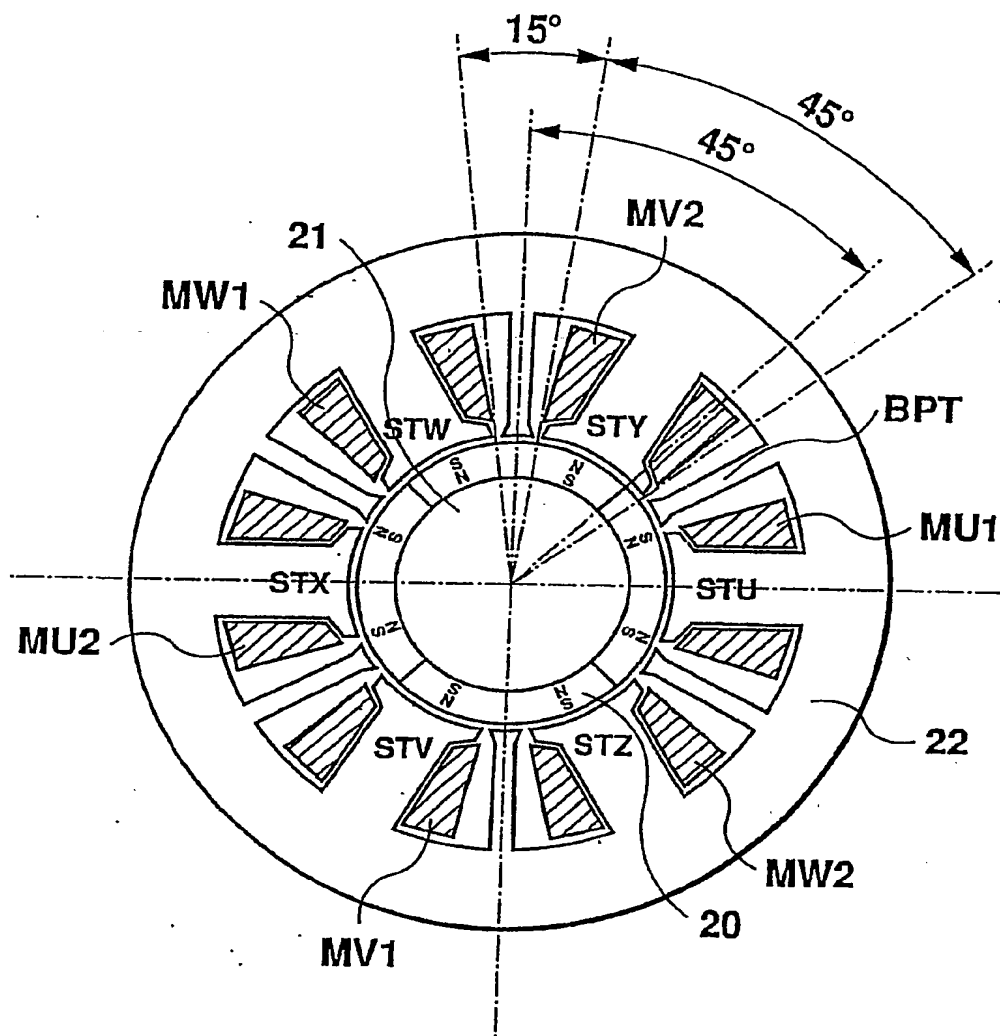


Fig. 19



**Fig. 20**